



ผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของ
สตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์

**Effect of Amylose Content and Processing Conditions on Functional Properties of
Pregelatinized Rice Starches**

คีนจันทร์ ณ นคร

Kuenchan Na Nakorn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Food Technology**

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์	ผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของ สตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์
ผู้เขียน	นางสาวคีนจันทร์ ฉน คร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

การศึกษาสตาร์ชข้าว 3 ชนิดที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกัน ได้แก่ สตาร์ชข้าวเหนียว (1.41%) สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 (14.96%) และสตาร์ชข้าวเล็ยง (20.16%) ซึ่งถูกดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาติไนเซชันด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยศึกษาผลของปริมาณอะมิโลส และสภาวะการผลิต ได้แก่ ความเข้มข้นของสตาร์ช (30% และ 35% โดยน้ำหนักแห้ง) ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (2 rpm และ 4 rpm) และอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง (110°C, 117°C และ 123°C) พบว่า โครงสร้างของสตาร์ชข้าวเหนียวพรีเจลาติไนซ์ (PGS) และข้าวขาวดอกมะลิ 105พรีเจลาติไนซ์ (PJS) ถูกทำลายจากกระบวนการพรีเจลาไนซ์มากกว่าสตาร์ชข้าวเล็ยงพรีเจลาติไนซ์ (PCS) โดยโครงสร้างของ PGS และ PJS เป็นแบบอสัณฐาน มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และการละลาย (WSI) สูง และปรากฏ cold peak viscosity แต่สำหรับ PCS ยังคงพบโครงสร้างผลึกซึ่งมีลักษณะแบบ V (V-type crystallinity) และปรากฏ hot peak viscosity โดยมีค่า WAI และ WSI ที่ต่ำกว่า PGS และ PJS เมื่อระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ระดับความเร็วรอบและความเข้มข้นของสตาร์ชลดลง ส่งผลให้ระดับการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีค่าความหนืดอินทรินสิกมีแนวโน้มลดลง และ WSI มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าระดับการเกิดเจลาติไนเซชันที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้ cold peak viscosity ของ PGS และ PJS มีค่าลดลง เมื่อศึกษาพฤติกรรมไหลที่อุณหภูมิต่ำ (25°C) พบว่า PGS และ PJS มีพฤติกรรมไหลแบบ shear-thinning โดยระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้นและระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ลดลงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (k) และค่าความหนืดปรากฏที่อัตราการเฉือน 110 s^{-1} (η_{110}) ของ PGS มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงส่งผลให้ค่า k และค่า η_{110} ของ PGS และ PJS มีค่าเพิ่มขึ้น ได้มีการนำ PGS ที่ผลิตจากสตาร์ชความเข้มข้น 30% (โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 110°C และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm ซึ่งเป็นสตาร์ชที่มีค่าความหนืดปรากฏที่อุณหภูมิต่ำสูงสุดไปใช้ผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ โดยพบว่าเมื่อเติม PGS ในระดับการทดแทนน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไขมันและค่าพลังงานของน้ำสลัดมีค่าลดลง และพบว่าค่า Storage modulus (G') ค่าความหนืดปรากฏ และค่าความคงตัวของน้ำสลัดมีค่าเพิ่มขึ้น

Thesis Title	Effect of Amylose Content and Processing Conditions on Functional Properties of Pregelatinized Rice Starches
Author	Miss Kuenchan Na Nakorn
Major Program	Food Technology
Academic Year	2008

ABSTRACT

Three rice starches with different amylose contents (Glutinous: 1.4%, Jasmine: 14.96% and Chiang: 20.16%) were pregelatinized by a double drum dryer. The effect of amylose content and process conditions such as starch concentration (30% and 35% dry basis), rotation speed (2 rpm and 4 rpm) and drum temperature (110°C, 117°C and 123°C) were investigated. It was found that the structure of pregelatinized Glutinous rice starch (PGS) and pregelatinized Jasmine rice starch (PJS) were more disrupted than that of pregelatinized Chiang rice starch (PCS). PGS and PJS showed amorphous structures. PGS and PJS gave high water absorption index (WAI) and water soluble index (WSI) as well as showed cold peak viscosity. However, PCS appeared V-type crystallinity and hot peak viscosity. The PCS showed lower WAI and WSI than did those of PJS and PGS. Increasing drum temperature and decreasing rotation speed and starch concentration resulted in increasing degree of gelatinization for these three rice starches. It was found that their intrinsic viscosity decreased while WSI increased. In addition, cold peak viscosity for both PGS and PJS decreased with increasing degree of gelatinization. From flow behavior test at low temperature (25°C), the apparent viscosity of PGS and PJS showed a reduction of shear rate, denoting their shear thinning behavior. For PGS, increasing drum temperature and decreasing rotation speed and starch concentration increased consistency index (k) and apparent viscosity at shear rate $110 \text{ s}^{-1} (\eta_{110})$. Decreasing starch concentration resulted in increasing k and η_{110} of PGS and PJS. PGS produced from starch concentration of 30% (db), drum temperature of 110°C and rotation speed of 4 rpm which gave the highest apparent viscosity at low temperature was selected to apply for low-fat salad dressing. The result showed that an increase in substitution of PGS instead of vegetable oil resulted in decreasing fat and caloric values but increasing storage modulus (G'), apparent viscosity and stability of salad dressing.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.เทวี ทองแดง ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในการค้นคว้าวิจัย และตรวจทานแก้ไขการเขียนวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบ ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ และกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันทา ทองทา ที่ตรวจทานและให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยแห่งชาติ (สกว.) คณะอุตสาหกรรมเกษตร และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและค่าใช้จ่ายระหว่างการศึกษา นอกจากนี้ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดพัทลุงที่ให้ความอนุเคราะห์ข้าวเหนียว บริษัทกรุงเทพสตาร์ชอินดัสเทรียล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สตาร์ชข้าว และบริษัทซิโนไทยสตาร์ช จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สตาร์ชฟรีเจลาติโนซ์ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบุคลากรคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง รวมทั้งการให้คำแนะนำในการปฏิบัติงาน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจในการศึกษา ขอบคุณพี่ๆ และน้องๆ ที่คอยให้กำลังใจในระหว่างการทำทดลองและการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

กิ้นจันทร์ ณ นคร

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
ตรวจเอกสาร.....	2
1. ข้าว.....	2
2. สตาร์ชข้าว.....	3
2.1 การสกัดสตาร์ช.....	3
2.2 องค์ประกอบหลักภายในเม็ดสตาร์ช.....	4
2.3 โครงสร้างของสตาร์ช.....	7
2.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าว.....	10
3. การตัดแปรสตาร์ช.....	15
3.1 การตัดแปรสตาร์ชข้าวด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์.....	15
3.2 ผลการตัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์ชั้นต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของ สตาร์ช.....	17
3.3 ปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของ สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์.....	18
4. การใช้ประโยชน์ของแป้งและสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์.....	23
4.1 การทดแทนแป้งสาลีและแป้งชนิดอื่นๆในผลิตภัณฑ์อาหาร.....	23
4.2 การเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหาร.....	24
วัตถุประสงค.....	25
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ.....	26
วัสดุ.....	26
อุปกรณ์.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีการทดลอง.....	28
1. การผลิตสตาร์ชจากข้าวเลี้ยง.....	28
2. การศึกษาสมบัติของสตาร์ชข้าวดิบ.....	28
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าว.....	28
2.2 ลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าว.....	28
3. การศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของ สตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์.....	29
3.1 การผลิตสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์.....	29
3.2 การศึกษาสมบัติของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์.....	30
4. การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้ กับสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ทางการค้า.....	33
5. การประยุกต์ใช้สตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ในการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ.....	33
5.1 การผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ.....	33
5.2 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำสลัด.....	34
6. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ.....	35
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
1. สมบัติของสตาร์ชข้าวดิบ.....	35
1.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าว.....	35
1.2 สมบัติทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าว.....	37
1.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าว.....	40
2. ผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อโครงสร้างและสมบัติเชิง หน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์.....	45
2.1 ลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์.....	45
2.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลาย.....	55
2.3 สมบัติการเกิดสตาร์ชเพสท์.....	60
2.4 พฤติกรรมการไหล.....	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. เปรียบเทียบสมบัติของสสารสีขาวพรีเจลาตินไนซ์กับสสารสีขาวพรีเจลาตินไนซ์ ทางการค้า.....	69
4. การประยุกต์ใช้สสารสีขาวพรีเจลาตินไนซ์ในการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ.....	74
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดไขมันต่ำ.....	74
4.2 ลักษณะและขนาดอนุภาคของเม็ดไขมัน.....	75
4.3 พฤติกรรมการไหล.....	77
4.4 สมบัติวิสโคอีลาสติก.....	78
4.5 ความคงตัวของน้ำสลัด.....	79
4. สรุป.....	80
เอกสารอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก.....	90
ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี.....	91
ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	104

รายการตาราง

Table		Page
1.	Composition of control and low fat salad dressing in each sample.....	33
2.	Chemical compositions of native starches from Glutinous, Jasmine and Chiang rice.....	36
3.	Viscosity parameters from Rapid Visco Analyzer of native starch pastes from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.....	42
4.	Intrinsic viscosity $[\eta]$ of native and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).....	53
5.	Intrinsic viscosity $[\eta]$ of native and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).....	54
6.	Intrinsic viscosity $[\eta]$ of native and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).....	54
7.	Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).....	66
8.	Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).....	67

รายการตาราง (ต่อ)

Table	Page
9. Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).....	67
10. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of commercial pregelatinized starch (CPS) compared to pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).....	70
11. Viscosity parameter from Rapid Visco Analyzer of commercial pregelatinized starch (CPS) compared to pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).....	71
12. Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of commercial pregelatinized starch (CPS) compared to pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).....	72
13. Chemical compositions and caloric values of control and low fat salad dressings.....	74
14. Particle size of oil droplet control and low fat salad dressings.....	75
15. Stability of control and low fat salad dressings.....	79

รายการภาพประกอบ

Figure	Page
1. Amylose structure.....	5
2. Amylopectin structure.....	7
3. Rice starch granule.....	8
4. Structure of starch granule.....	9
5. SEM micrographs (x5000) of native starches from Glutinous (a), Jasmine (b) and Chiang (c) rice.....	37
6. Crystallinity pattern of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.....	39
7. FTIR spectra of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice. The arrow indicates peak at 1022 and 1047 cm^{-1}	39
8. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.....	40
9. Pasting profile of native starch pastes from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.....	42
10. Relationship of apparent viscosity and shear rate of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice at 60°C.....	44
11. Relationship of shear stress and shear rate of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice at 60°C.....	44
12. SEM micrographs (x100) of pregelatinized starches from Glutinous (a), Jasmine (b) and Chiang (c) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).....	47
13. Crystallinity pattern of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice, and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C, rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at 2θ	48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

Figure	Page
14. FTIR spectra of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C, rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at 1047 cm ⁻¹	48
15. Crystallinity pattern of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at 20°(2θ).....	49
16. FTIR spectra of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at 1022 and 1047 cm ⁻¹	50
17. Crystallinity pattern of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)) The arrow indicates peak at 20°(2θ).....	51
18. FTIR spectra of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)) The arrow indicates peak at 1047 cm ⁻¹	52
19. Water absorption index (WAI) (a) and the water solubility index (WSI) (b) of native and pregelatinized starches from Glutinous, Jasmine and Chiang rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).....	57

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

Figure	Page
20. Typical relationships between parameters used to estimate the amount of starch conversion (modified from Mitchell <i>et al.</i> , 1997) (a), water absorption index (WAI) (b) and water solubility index (WSI) (c) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).....	58
21. Water absorption index (WAI) (a) and water solubility index (WSI) (b) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 rpm (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)).....	59
22. RVA profiles of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).....	61
23. RVA profile of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C, 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).....	62
24. RVA profile of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine rice (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 rpm (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)).....	63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

Figure	Page
25. Apparent viscosity of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice was measured at 25°C over the shear rate of 10-1000 s ⁻¹ . (Drum dryer input parameters: starch concentration 35 % (db), drum temperature 110°C, 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).....	65
26. Apparent viscosity of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a) and Jasmine (PJS) (b) rice was measured at 25°C over the shear rate of 10-1000 s ⁻¹ . (Drum dryer input parameters: drum temperature 110°C, starch concentration 30 % (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35 % (db) rotation speed 2 rpm (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)).....	68
27. RVA profile of commercial pregelatinized starch.....	73
28. Apparent viscosity of commercial pregelatinized starch was measured at 25°C over the shear rate of 10-1000 s ⁻¹	73
29. Optical microscope (x400) of control (a) and sample 1 (b), sample 2 (c), sample 3 (d) and sample 4 of low fat salad dressing.....	76
30. Apparent viscosity of control and low fat salad dressings was measured at 25°C over the shear rate of 1-100 s ⁻¹	77
31. Storage modulus (G') of control and low fat salad dressings was measured at 25°C over the frequency of 1-100 s ⁻¹	78

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศซึ่งมีการเพาะปลูกทั่วทุกภูมิภาคในประเทศไทย ผลผลิตข้าวประมาณ 60-70% ใช้เพื่อบริโภคภายในประเทศและเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมแป้ง อุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น การแปรรูปข้าวเป็นสตาร์ชนั้นนิยมผลิตกันแพร่หลายเพราะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายด้าน ได้แก่ ในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามสตาร์ชดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานหรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะการผลิต เช่น ต้องใช้ความร้อนและต้องใช้เวลาในการเจลาติไนเซชัน สูญเสียความหนืดได้ง่าย ไม่ทนต่อการกด ความร้อน และแรงเฉือนจากการกวน ไม่คงตัวต่ออุณหภูมิต่ำและการละลายหลังการแช่แข็ง จึงมีการนำสตาร์ชข้าวมาดัดแปรคุณสมบัติให้ตรงตามความต้องการ ซึ่งการดัดแปรสตาร์ชสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การดัดแปรด้วยวิธีทางเคมี และวิธีทางกายภาพ การดัดแปรสตาร์ชโดยวิธีพรีเจลาติไนเซชันเป็นวิธีหนึ่งในวิธีการดัดแปรทางกายภาพ ซึ่งทำให้สตาร์ชมีคุณสมบัติที่สามารถกระจายตัวและละลายในน้ำเย็นหรืออุณหภูมิห้องได้ สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบให้ความหนืดได้ทันทีจึงช่วยให้สะดวกและรวดเร็วเมื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ต้องใช้ความร้อน ซึ่งมักนิยมใช้กันในอาหารประเภทขนมพุดดิ้ง น้ำเกรวี่ น้ำซอส ทำให้สำเร็จรูปสำหรับอาหารประเภทพายและครีมหน้าขนมต่างๆ ใช้ในส่วนผสมของซูปสง ในผลิตภัณฑ์เนื้อจะช่วยทำหน้าที่ยึดเกาะ (binder) เพื่ออุ้มน้ำและรักษาความชุ่มชื้น และใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมเค้ก ซึ่งจะช่วยในการดูดซับน้ำเก็บฟองอากาศได้ดีขึ้นมีผลทำให้เค้กมีความชุ่มชื้นและปริมาตรเพิ่มขึ้น ลักษณะเค้กสม่ำเสมอ

สตาร์ชข้าวแต่ละพันธุ์มีปริมาณอะมิโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่แตกต่างกัน โดยปริมาณอะมิโลสจะส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช ซึ่งทำให้ระดับการถูกทำลายด้วยความร้อนจากกระบวนการเจลาติไนเซชันของสตาร์ชข้าวแตกต่างกัน นอกจากนี้สภาวะที่ใช้ในการผลิตด้วยวิธีพรีเจลาติไนเซชันก็จะส่งผลต่อระดับการถูกทำลายจากกระบวนการพรีเจลาติไนเซชันได้เช่นกัน ซึ่งระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนเซชัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อ

สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

ตรวจเอกสาร

1. ข้าว

ข้าวเป็นพืชในตระกูล Gramineae ซึ่งเป็นพืชล้มลุกกึ่งน้ำ (semi-aquatic annual plant) มีดอกสมบูรณ์และผสมพันธุ์ในตัวเองโดยธรรมชาติ ข้าวที่ปลูกโดยทั่วไปมี 2 species คือ *Oryza glaberrima* และ *Oryza sativa* L. โดย *Oryza glaberrima* มีการปลูกกันอย่างจำกัดเฉพาะในทวีปแอฟริกา สำหรับ *Oryza sativa* L. สามารถแบ่งได้เป็น 3 sub-species ได้แก่ Japonica type, Indica type และ Javanica type ข้าว Japonica type ปลูกมากทางเหนือของประเทศจีน ประเทศเกาหลีและประเทศญี่ปุ่น ข้าว Javanica type ปลูกมากในอินโดนีเซียแต่ไม่มีความสำคัญทางการค้า และข้าว Indica type จะปลูกกันมากในทางตอนใต้ของจีน ประเทศอินเดีย ประเทศในอินโดจีน เอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทย และประเทศสหรัฐอเมริกา ข้าวไทยจึงจัดอยู่ใน sub-species indica ข้าวไทยเป็นที่รู้จักไปทั่วโลกโดยเฉพาะข้าวหอมมะลิไทยได้รับการยอมรับว่าเป็นข้าวหอมที่ดีที่สุดและมีเพียงแห่งเดียวในโลก โดยผู้บริโภคจะรู้จักในชื่อของ Jasmine Rice , Fragrant Rice และ Thai Hom Mali Rice เมื่อนำมาหุงสุกจะมีลักษณะเมล็ดข้าวสุกเป็นตัวขาว เรียว นุ่ม มีกลิ่นหอม โดยมีแหล่งเพาะปลูกสำคัญ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (เขตทุ่งกุลาร้องไห้) และมีพื้นที่เพาะปลูกครอบคลุมกว่า 19 ล้านไร่ทั่วประเทศ โดยมีแหล่งผลิตสำคัญ คือ จังหวัดสุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ นครราชสีมา อุบลราชธานี ร้อยเอ็ด พื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่อยู่ในเขตที่ต้องอาศัยน้ำฝน (ตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย, 2551) แบ่งข้าวหอมมะลิถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง หรือนำข้าวหอมมะลิมาหุงบรรจุกระป๋อง ข้าวเหนียวนับว่าเป็นอาหารหลักของชาวภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศมาเป็นเวลาช้านานแล้ว โดยเมล็ดข้าวสารจะมีลักษณะสีขาวขุ่น เมื่อนำมานึ่งให้สุกเมล็ดข้าวจะมีลักษณะใสและจะจับตัวกันแน่น มีพื้นที่การผลิต 18 ล้านไร่ หรือ 31% ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งหมด ผลผลิตรวมทั้งปีประมาณ 7 ล้านตัน สามารถจำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ โดยส่งออกทั้งในรูปแบบเมล็ดข้าวสารและผลิตภัณฑ์ประมาณ 2 แสนตัน คิดเป็นมูลค่า 3 พันล้านบาทของการส่งออกในแต่ละปี จังหวัดที่ปลูกข้าวเหนียวมากที่สุดได้แก่ ขอนแก่น อุดรธานี อุบลราชธานี และสกลนคร ตามลำดับ (สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว, 2550) มีการนำแป้งข้าวเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและขนมขบเคี้ยว โดยเฉพาะโรงงานผลิตอาหารญี่ปุ่นแช่แข็ง เช่น ขนมโมจิ เกี้ยวซ่า เป็นต้น ข้าวพื้นเมืองทาง

ภาคใต้ที่นิยมปลูก เช่น ข้าวสังข์หยด ข้าวเหนียวพัทลุง ข้าวพัทลุง60 ข้าวลูกแดงปัตตานี ข้าวเล็บนกปัตตานี ข้าวเหนียวพัทลุงเป็นข้าวพื้นเมืองที่เมื่อปี 2517 ซึ่งนายเลียง ทองเรือง ชาวนาจังหวัดพัทลุงได้นำเมล็ดพันธุ์ข้าวพื้นเมืองจาก อ.ปากพูน ไปปลูกที่ อ.ระโนด จ.สงขลา ปรากฏว่าได้ผลผลิตดี ต่อมาปี 2530 สถานีทดลองข้าวปัตตานี ได้รวบรวมพันธุ์และพัฒนาจนผ่านการพิจารณาให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2536 ใช้ชื่อพันธุ์ "เหนียวพัทลุง" (กรมการข้าว, 2551) โดยเมื่อहुงสุกจะให้ข้าวสุกที่ร่วนแข็งแต่เป็นที่ยอมรับของตลาดท้องถิ่น นิยมนำมาผลิตเป็นเส้นขนมจีน องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาพการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร โดยทั่วไปองค์ประกอบทางเคมีหรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต

2. สตาร์ชข้าว

สตาร์ชข้าว (rice starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเมล็ดข้าว เช่นเดียวกับแป้ง แต่กรรมวิธีการผลิตจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสตาร์ชโดยมีองค์ประกอบอื่นปนมาน้อยที่สุด จากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ผ่านการขัดสี พบว่าจะมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่มากที่สุดโดยมีสูงถึง 90.2% และพบโปรตีนมากเป็นอันดับรองลงมา (7.3-8.3%) ดังนั้นในการผลิตสตาร์ชข้าวจึงต้องมีการกำจัดโปรตีนออกซึ่งโปรตีนในข้าวสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มได้โดยอาศัยพื้นฐานการละลายของโปรตีนแต่ละชนิดในตัวทำละลายต่างกัน ดังนี้

- อัลบูมิน (albumin) โปรตีนชนิดนี้ละลายได้ในน้ำหรือน้ำที่มีกรดเพียงเล็กน้อยและจะตกตะกอนทันทีเมื่อได้รับความร้อน และยังเป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเอนไซม์ พบประมาณ 9.7-14.2% ของโปรตีนทั้งหมด
- โกลบูลิน (globulin) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในน้ำเกลือ (โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.4 โมลาร์) และเมื่อได้รับความร้อนจะไม่ตกตะกอนง่าย พบประมาณ 13.5-18.9% ของโปรตีนทั้งหมด
- กลูทีลิน (glutelin) โปรตีนชนิดนี้ไม่ละลายในน้ำ สารละลายเกลือ และเอทานอล แต่จะละลายในน้ำซึ่งมีกรดหรือด่าง (กรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์) ซึ่งโปรตีนชนิดนี้เป็นโปรตีนที่พบปริมาณมากในข้าว และสามารถแยกออกมาได้โดยใช้สารละลายด่างเพื่อละลายโปรตีนชนิดนี้ ดังนั้นในกระบวนการผลิตสตาร์ชข้าวทั่วไปจึงล้างฟลาวข้าวด้วยสารละลายด่าง พบประมาณ 63.8-73.4% ของโปรตีนทั้งหมด

- โปรลามิน (prolamin) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในเอทานอลเข้มข้น 70-80% พบประมาณ 3.0-5.4% ของโปรตีนทั้งหมด

2.1 การสกัดสตาร์ช

กระบวนการผลิตจะเริ่มจากนำข้าวเปลือกมาล้างทำความสะอาดแยกสิ่งแปลกปลอมและสีเป็นข้าวสาร จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายเบสพร้อมกับกวนแบบช้าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อแยกโปรตีนที่ติดอยู่กับเมล็ดข้าวออก ปล่อยให้ข้าวตกตะกอน แยกส่วนใสที่มีโปรตีนออกทำซ้ำจนกระทั่งเมล็ดข้าวนิ่ม แล้วนำเมล็ดข้าวมาบดเปียกด้วยสารละลายเบส ล้างน้ำ และเหวี่ยงแยกโปรตีนส่วนที่ติดอยู่ในสารแขวนลอยแบ่งออก นำมาผ่านไฮโดรไซโคลอน กำจัดน้ำ แล้วทำให้แห้ง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสตาร์ชข้าวเจ้า (Schoch, 1967)

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ (2546) เตรียมสตาร์ชข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ โดยนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการโม่เปียก (wet milling) เพื่อให้ได้ฟลาวร์ข้าว หลังจากนั้นทำการสกัดโปรตีนโดยใช้สารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 5% เอทานอลเข้มข้น 95% และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.35% พบว่าสตาร์ชที่เตรียมได้มีโปรตีนน้อยกว่า 0.5% มีปริมาณของไขมันน้อยกว่า 0.1% ปริมาณเถ้า 0.4% (โดยน้ำหนักแห้ง) และปริมาณสตาร์ชของข้าวทุกพันธุ์ที่ได้มากกว่า 95% (โดยน้ำหนักแห้ง)

Noosuk และคณะ (2003) ทำการสกัดสตาร์ชจากข้าว กข 6 ข้าวดอกมะลิ 105 และสุพรรณบุรี 1 โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.3% อัตราส่วน 1 : 5 แช่ที่อุณหภูมิ $33 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงเพื่อช่วยให้เมล็ดข้าวอ่อนตัว จากนั้นเทน้ำสารละลายต่างออก นำไปบดเปียกโดยใช้สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.3% อัตราส่วน 1 : 5 พบว่าสตาร์ชที่เตรียมได้มีปริมาณโปรตีนและปริมาณของไขมันน้อยกว่า 0.8% ปริมาณเถ้า 0.5% (โดยน้ำหนักแห้ง)

2.2 องค์ประกอบหลักภายในเม็ดสตาร์ช

โครงสร้างทางเคมีของสตาร์ชประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวขนาดใหญ่ โดยส่วนใหญ่สตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด ได้แก่ อะมิโลส และอะมิโลเพกติน ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติและการใช้ประโยชน์ของสตาร์ชด้วย ซึ่งในกรณีของข้าวพบว่าอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่ต่างกันของข้าว จะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสทำให้วัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ประโยชน์ต่างกัน (Juliano, 1984 อ้างโดย รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ, 2546)

2.2.1 อะมิโลส (amylose)

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1, 4 (α -1,4) ดังรูปที่ 1

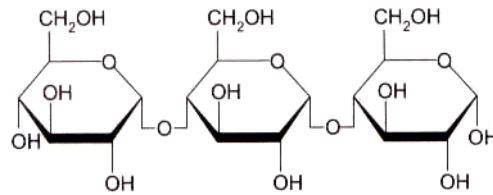


Figure 1. Amylose structure

Source: Visser (1996)

ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเมล็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับพันธุ์ของแป้ง อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกตินบางส่วนกระจายอยู่ในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) ในแป้งสาลีพบอะมิโลสอยู่ในส่วนอสัณฐาน ในแป้งมันฝรั่งพบอะมิโลสอยู่ร่วมกับอะมิโลเพกติน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายสตาร์ชจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุดซึ่งเมล็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไป รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก โมเลกุลอะมิโลสจะกระจายออกจากเมล็ดสตาร์ช ทำให้มีความหนืดลดลง เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการคืนตัวซึ่งโมเลกุลจะมารวมตัวกัน ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นของสตาร์ชสูงจะเกิดการรวมตัวกันของสายอะมิโลสอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเป็นเจลชุน Varavinit และคณะ (2003) ทำการศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสต่อการเกิดเจลาตินไนซ์ ริโทกราเดชัน และสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชเพสต์ (pasting properties) ของแป้งจากข้าวไทย 11 ชนิดที่สนใจ พบว่าสตาร์ชกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะมีค่าความหนืดสูงสุดและค่า breakdown สูง แต่มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ค่า setback และค่า degree of retrogradation ต่ำ

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ (2546) ทำการศึกษาปริมาณอะมิโลสของข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ ด้วยวิธีการทั้ง 2 วิธี คือ การเกิดสีกับไอโอดีนโดยสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโมเลกุลอะมิโลสกับไอโอดีนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินแล้วนำไปวิเคราะห์ความสามารถในการดูดกลืนแสง วิธีที่สอง คือ การตกตะกอนอะมิโลเพกตินด้วย Concanavalin A (Con A) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชข้าว โดยอาศัยสมบัติความแตกต่างของขนาดโมเลกุลระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพกติน โดยอะมิโลเพกตินซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอะมิโลสสามารถตกตะกอนและแยกออกจากอะมิโลสด้วยสาร Concanavalin A แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่เหลือด้วยวิธีเอนไซม์ พบว่าทั้ง 2 วิธีสามารถจำแนกสตาร์ชข้าวออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ตามปริมาณอะมิโลส โดยวิธี Con A สามารถจำแนกได้ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งคือข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ซึ่งมีปริมาณอะมิโลสปรากฏ (apparent amylose) ประมาณ 3.80% ประกอบด้วย 2 พันธุ์ ได้แก่ กข 6 และข้าวเหนียวสันป่าตอง กลุ่มที่สองคือข้าวที่มีปริมาณ

อะมิโลสปานกลาง โดยมีปริมาณอะมิโลสปรากฏ ประมาณ 12.88% ถึง 18.00% ประกอบด้วย 5 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 พิษณุโลก 1 ปทุมธานี 1 กข 15 และสังข์หยด และกลุ่มสุดท้ายคือ กลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูง มีปริมาณอะมิโลสปรากฏ ประมาณ 20.31% ถึง 26.68% ประกอบด้วย 9 พันธุ์ ได้แก่ พิษณุโลก 2 สุพรรณบุรี 90 เหลืองประทิว 123 สุพรรณบุรี 1 ชัยนาท 1 ข้าวห้าวร้อย กข 23 เฌียงพัทลุง และเจ๊กเซย ปริมาณอะมิโลสในข้าวสังข์หยดและข้าวเฌียงพัทลุงพบว่า วิธีการเกิดสี กับไอโอดีนได้ปริมาณอะมิโลส 18.44 และ 28.94 ตามลำดับ แต่การหาด้วยวิธี Con A มีปริมาณอะมิโลส 15.95 และ 24.89 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างเท่ากับ 13.50% และ 13.99% ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชข้าวโดยใช้วิธีการเกิดสีกับไอโอดีน จะให้ค่าปรากฏที่สูงกว่า วิธีการวิเคราะห์การตกตะกอนอะมิโลเพกตินด้วย Con A โดยพบว่าความแตกต่างระหว่างค่าปริมาณอะมิโลสที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 10% จนถึง 50% ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้จะขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์ด้วย ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการรบกวนด้วยโมเลกุลของอะมิโลเพกตินและโมเลกุลที่มีขนาดกลาง (intermediate material) (Hizukuri, 1986)

Noosuk และคณะ (2003) ศึกษาปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชข้าวไทย 3 พันธุ์ คือ กข 6 ข้าวดอกมะลิ 105 และสุพรรณบุรี 1 ด้วยวิธี Con A ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่จริง โดยไม่มีอิทธิพลของอะมิโลเพกตินเข้ามาเกี่ยวข้อง และได้มีการตรวจสอบปริมาณอะมิโลสด้วยวิธีการเกิดสีกับไอโอดีน โดยแสดงเป็นปริมาณอะมิโลสที่ละลายน้ำได้ (soluble amylose, AM) โดยละลายสตาร์ชในน้ำที่อุณหภูมิ 98°C แล้วนำส่วนสารละลายที่กรองได้ไปทำปฏิกิริยากับไอโอดีน จากการทดลองพบว่าปริมาณอะมิโลสที่ละลายน้ำมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณอะมิโลสซึ่งหาได้จากวิธี Con A และจากการศึกษาพบว่าสตาร์ชข้าวไทยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามปริมาณอะมิโลสที่ละลายน้ำได้ กลุ่มที่หนึ่ง คือ สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (1-3%) ได้แก่ ข้าว กข 6 กลุ่มที่สอง คือ สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (14-15%) ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กลุ่มที่สาม คือ สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (21-23%) ได้แก่ ข้าวสุพรรณบุรี 1

2.2.2 อะมิโลเพกติน (amylopectin)

อะมิโลเพกตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6 ดังภาพที่ 2

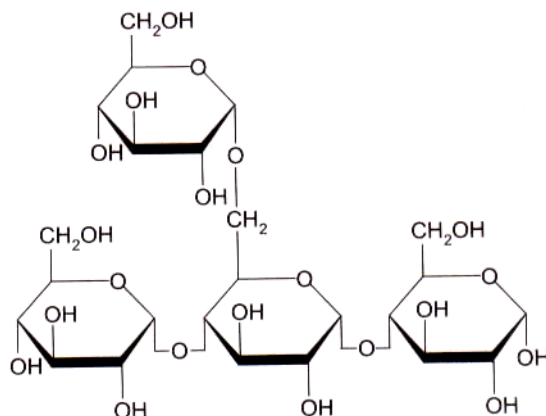


Figure 2. Amylopectin structure

Source: Visser (1996)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1,6 มีประมาณ 5-6% ของปริมาณหน่วยกลูโคสทั้งหมด อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส และมีอัตราการคืนตัวต่ำเนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ

- 1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสาย B ที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมออกจากสายชนิดนี้
- 2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โดยโครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1
- 3) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนที่ประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง (reducing end-group) ในหมู่อะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของสตาร์ชแตกต่างกัน เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลาย สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง แป้งเปียกที่ได้จะไม่มีสีใส และมีความหนืดสูง (กล้าณรงค์และเกื้อกุล, 2546)

2.3 โครงสร้างของเม็ดสตาร์ช

2.3.1 รูปร่างและการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช

รูปร่างของเม็ดสตาร์ชข้าวจะมีลักษณะหลายเหลี่ยมแต่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Hayakawa *et al.*, 1980 อ้างโดย Zhou, Z., 2002) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-8 μm (Ellis *et al.*, 1998) โดยเม็ดสตาร์ชข้าวจะอยู่รวมกลุ่มกันประมาณ 20 และ 60 เม็ดสตาร์ช ทำให้มีเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้นเป็น 150 μm (Juliano, 1985) รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตและคณะ(2546) ศึกษาคุณสมบัติของสตาร์ชข้าวพันธุ์ต่างๆในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม ซึ่งประกอบด้วยข้าว 16 พันธุ์ คือ กข6 กข15 กข23 เหนียวสันป่าตอง ขาวดอกมะลิ105 พิษณุโลก1 พิษณุโลก2 ปทุมธานี1 สังข์หยด สุพรรณบุรี1 สุพรรณบุรี90 เหลืองประทิว123 ชัยนาท1 ขาวห้าวร้อย เนิ้งพัทลุง และเจ๊กเซย พบว่าสตาร์ชข้าวที่สกัดได้จากทุกพันธุ์จะมีขนาดและรูปร่างของเม็ดคล้ายกัน นอกจากนี้เม็ดสตาร์ชข้าวที่เตรียมได้จากการศึกษานี้ยังคงความสมบูรณ์ ไม่ปรากฏลักษณะของการเกาะกลุ่มของเม็ดสตาร์ชที่เกิดจากการเจลาติไนซ์ที่อาจเป็นผลมาจากสารละลายต่าง มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชอยู่ในช่วงแคบระหว่าง 3 ถึง 12 μm และส่วนใหญ่จะมีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 6 ถึง 9 μm ข้าวสังข์หยดและข้าวเหนียวพัทลุงมีการกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 4-8 μm ซึ่งจัดเป็นสตาร์ชที่มีขนาดเม็ดเล็ก เม็ดสตาร์ชโดยส่วนใหญ่มีลักษณะแบน หลายเหลี่ยม จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้านรูปร่างและขนาดของเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์และกล้อง SEM อาจกล่าวได้ว่า สตาร์ชของข้าวทุกพันธุ์มีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Noosuk และคณะ (2003) พบว่าข้าวไทยที่ทำการศึกษามีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กรูปร่างหลายเหลี่ยมและผิวเรียบ ดังภาพที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 ถึง 6 μm

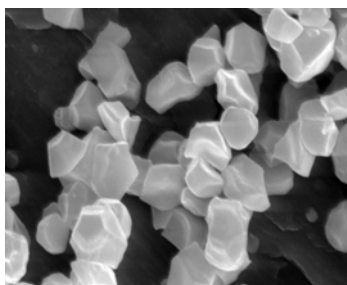


Figure 3. Rice starch granule

Source: Noosuk *et al.* (2003)

2.3.2 โครงสร้างผลึกของสตาร์ช

เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโมเลกุลที่เป็นสายยาวของอะมิโลสเกาะเกี่ยวกับโมเลกุลที่เป็นกิ่งก้านสาขาของอะมิโลเพกตินด้วยพันธะไฮโดรเจน การเกาะกันนี้ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นชั้นๆ ของส่วนโครงสร้างผลึก (crystalline) และส่วนอสัณฐาน (amorphous) สลับกันไปมาอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เมื่อส่องดูเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์จะเห็น Maltese cross ภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยชั้นแข็ง (hard shell) และชั้นอ่อน (soft shell) เรียงสลับกันอย่างเป็นระเบียบ โดยแต่ละชั้นมีความหนาแน่นระหว่าง

120-400 nm ชั้นต่างๆดังกล่าวเกิดจากการเรียงตัวกันของโครงสร้างย่อยที่เรียกว่า “Blocklet” โดยขนาดของ Blocklet ในชั้นแข็งจะใหญ่กว่าชั้นอ่อน โครงสร้างหลักของ Blocklet คือ ส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึก (crystalline) เรียงตัวสลับเป็นชั้นกับส่วนอสัณฐาน (amorphous) (Gallant *et al.*, 1997) ดังภาพที่ 4 ภายในแต่ละ Blocklet ประกอบด้วยชั้นผลึกที่เกิดแขนงข้าง (side chain) ของอะมิโลเพกตินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (double helices) เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบสลับกับชั้นอสัณฐานที่เกิดจากบริเวณกิ่ง (branching region) ของสายอะมิโลเพกติน (Robin *et al.*, 1974) สายอะมิโลเพกตินจะเป็นส่วนประกอบทั้งในโครงสร้างผลึกและอสัณฐาน โดยพบว่า 80-90% ของจำนวนสายอะมิโลเพกติน ทั้งหมดจะอยู่ในส่วนผลึก และ 10-20% ที่เหลืออยู่ในส่วนอสัณฐาน (Manners, 1989) เม็ดสตาร์ชจะมีลักษณะโครงสร้างทางผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเม็ดสตาร์ชแต่ละชนิด ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดโครงสร้างผลึกแบบ A (สตาร์ชจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B (สตาร์ชจากพืชหัว) ในกรณีที่มีการเรียงตัวที่ก้ำกึ่งระหว่างแบบ A และ แบบ B จะถูกจัดเป็น โครงสร้างแบบ C

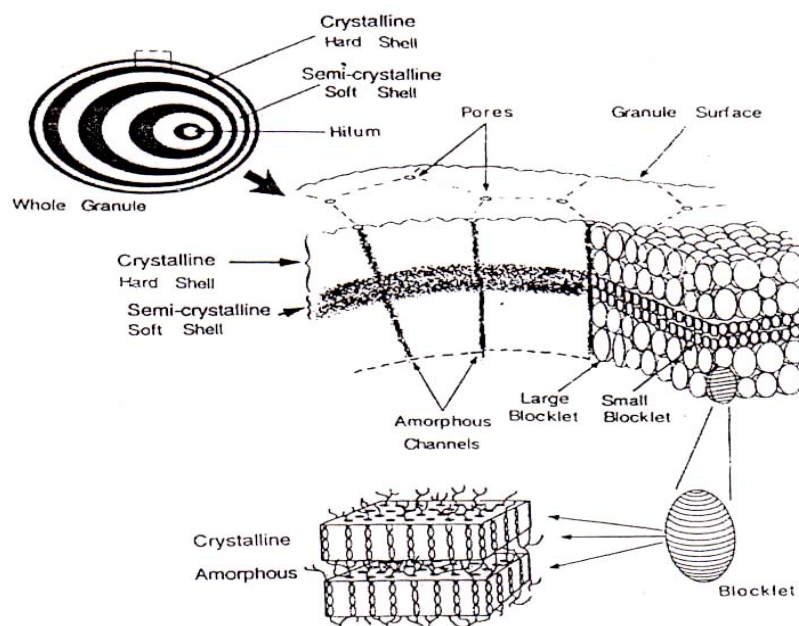


Figure 4. Structure of starch granule

Source: Gallant *et al.* (1997)

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ(2546) พบว่าสตาร์ชข้าวไทยที่ทำการศึกษามีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A ซึ่งมีการเรียงตัวของเกลียวคู่ในส่วนสายสั้นของสายอะมิโลเพกตินแบบหนาแน่นมาก ค่าความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าว 3 กลุ่มที่แบ่งตามปริมาณอะมิโลส

พบว่าสตาร์ชข้าวกลุ่มที่ไม่มีปริมาณอะมิโลส (waxy type) มีค่าความเป็นผลึกสูงสุดอยู่ในช่วง 24-26 % สตาร์ชข้าวกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางและอะมิโลสสูงมีค่าความเป็นผลึกอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 17-23 % ซึ่งชี้ให้เห็นว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลส ปานกลางและสูงนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในส่วนของค่าความเป็นผลึก

Noosuk และคณะ (2003) ทำการศึกษาโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากข้าวไทย 3 พันธุ์ ได้แก่ สุพรรณบุรี 1 ขาวดอกมะลิ 105 และกข 6 พบว่ามีโครงสร้างผลึกแบบ A ปริมาณความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าวมีค่าลดลงแบบเชิงเส้น ($R^2 = 0.85, p \leq 0.01$) เมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น สตาร์ชกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (1-3%) มีปริมาณผลึกอยู่ในช่วง 33-34% สตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (14-15 %) มีปริมาณผลึกอยู่ในช่วง 22-28% สตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (21-23%) มีปริมาณผลึกอยู่ในช่วง 23-24% เนื่องจากผลึกเมล็ดสตาร์ชเกิดขึ้นในโครงสร้างของอะมิโลเพกตินของสตาร์ชข้าว ดังนั้นสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง ก็จะมีปริมาณผลึกสูง

2.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าว

2.4.1 การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย

ภายในเมล็ดสตาร์ชมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก ในรูป bound water และน้ำรูปอิสระ (free water) โดยจะมีการจับกับสตาร์ชได้แน่นตามลำดับ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เมื่อเติมน้ำลงในสตาร์ชและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดสตาร์ชกับความชื้นภายนอก ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สตาร์ชทั่วไปเมื่อเกิดสมดุลภายใต้สภาวะบรรยากาศจะมีความชื้น 10-17 % การดูดซึมน้ำที่พบในธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดซึ่งแตกต่างกันไปตามแหล่งของสตาร์ชนั้นๆ เนื่องจากโครงสร้างที่ประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากบริเวณพื้นผิวของสตาร์ชที่เป็นส่วนอสัณฐาน (amorphous region) ทำให้น้ำหรือของเหลวสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดสตาร์ชได้อย่างอิสระ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) โดยปริมาณน้ำที่เม็ดสตาร์ชดูดซับขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ รวมทั้งชนิดของสตาร์ช (ชนินันท์ วรรณะทัย, 2542)

การพองตัวและการละลายสตาร์ชจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิติน เนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น แต่เม็ดสตาร์ชอาจดูดซึมน้ำและสามารถพองตัวได้เล็กน้อยในน้ำเย็น ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของสตาร์ชที่อยู่ใกล้กันหรืออาจต่อเชื่อมกับน้ำ (water binding) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) โดยเป็นการพองตัวแบบผันกลับได้ เมื่อนำไปทำให้แห้งก็จะมีลักษณะเหมือนเดิม (Leanch, 1965 อ้างโดย ชนินันท์ วรรณะทัย, 2542)

เม็ดสตาร์ชจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างและ birefringence แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายสตาร์ชให้สูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ (gelatinization temperature) พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ชจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ช จะเกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งกำลังการพองตัวจะเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มมากขึ้นที่สุดเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวสูงสุด สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชมีหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายสตาร์ชและการตัดแปรทางเคมี

จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย และทิพย์สุดา ศาสกุล (2545) พบว่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเลี้ยงพัทลุงและลูกแดงปัตตานีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยมีรูปแบบการพองตัวแบบ 2 ชั้น คือ ชั้นแรกที่อุณหภูมิมิระหว่าง 60-80°C เม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว และชั้นที่สองที่อุณหภูมิ 80°C ขึ้นไป

Noosuk และคณะ (2003) ศึกษา กำลังการพองตัวและดัชนีการละลายในข้าวไทยที่ทำการศึกษาพบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมีค่ากำลังการพองตัวสูงที่สุด (33.54-34.92) จะมีค่าดัชนีการละลายต่ำสุด (6.00-8.50%) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากข้าวชนิดอื่น และพบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหล่านี้ลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อปริมาณอะมิโลสมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ดัชนีการละลายมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอะมิโลสมีค่าเพิ่มขึ้น การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นผลเนื่องมาจากการพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย และจากนั้นโมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ การที่มีอะมิโลสปริมาณมากในสตาร์ชข้าวจะช่วยเสริมให้อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระในสายโมเลกุลของสตาร์ชมีค่าลดลงและทำให้กำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงก็จะมีปริมาณอะมิโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชสูงด้วย และจะเป็นผลให้ค่าดัชนีการละลายมีค่าสูงขึ้นด้วย

2.4.2 การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization)

การเกิดเจลาติไนเซชัน เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ช เมื่อมีการให้ความร้อนกับสารละลายสตาร์ช จะทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ทำให้ส่วนผสมนั้นมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นและใส และเม็ดสตาร์ชบางส่วนจะพองตัวเต็มที่จนแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสจะหลุดออกมาและเกิดการละลายของสตาร์ชขึ้น เม็ดสตาร์ชที่ผ่านเจลาติไนเซชันมาแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและรูปร่างแบบ

birefringence จะหายไป (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) อุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชจะแตกต่างกันไปในสตาร์ชแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ เช่น สัดส่วนปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกติน ปริมาณไขมัน รวมทั้งการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ช (Wurzberg, 1986 อ้างโดย จำริญ อัจฉราภิรักษ์, 2537)

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ (2546) ศึกษาการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ของสตาร์ชข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าว จะให้ผลที่สอดคล้องกับอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะสูงกว่าในสตาร์ชข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างอะมิโลสของสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลของอะมิโลสมีลักษณะเกลียวม้วนส่งเสริมให้โครงสร้างของสตาร์ชมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ดังนั้นสตาร์ชในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่า จึงเกิดเจลลาตินในเซชันที่อุณหภูมิสูงกว่า

Noosuk และคณะ (2003) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวไทย 3 พันธุ์โดยใช้เครื่อง DSC พบว่าการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มตามค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาตินในเซชัน ได้แก่ สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำและปานกลาง ซึ่งมีค่า T_0 ในช่วง 61-63°C สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงซึ่งมีค่า T_0 ในช่วง 72-73°C นอกจากนี้พบว่าค่าพลังงานในการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวไม่มีความแตกต่างกันระหว่างชนิดของข้าว โดยมีค่าในช่วง 11.52-14.48 J/g

2.4.3 สมบัติทางความหนืด (viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญของสตาร์ชเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เกิดเมื่อสตาร์ชได้รับความร้อน เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและเกิดการพองตัวขึ้นทำให้น้ำบริเวณรอบๆเม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชจึงเคลื่อนไหวยาก (ชนินันท์ วรธนะทัช, 2542) ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมากและพองตัวเต็มที่อย่างอิสระ โมเลกุลของสตาร์ชถูกทำลายแล้วกระจายสู่สารละลายรอบๆทำให้น้ำเม็ดสตาร์ชพองตัวแตกได้ง่ายขึ้นเมื่อมีการผสมที่รุนแรงและความหนืดจะลดลง การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชโดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ (Brabender viscoamylograph) ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงขั้นตอนทำให้เย็น นอกจากนี้สามารถวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) โดยทั่วไปสมบัติความหนืดของแป้งจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย รวมทั้งสมบัติทางโครงสร้างของแป้งด้วย เช่น ปริมาณอะมิโลส

และไขมัน ความยาวของกิ่งก้านอะมิโลเพกติน มีรายงานกล่าวว่า อะมิโลเพกตินจะช่วยส่งเสริมเม็ดสตาร์ชของข้าวได้ง่ายและทำให้น้ำแป้งมีความหนืดสูง ในขณะที่อะมิโลสสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมันได้และยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชได้ (Tester and Morrison, 1990) นอกจากนี้อิทธิพลร่วมระหว่างความยาวของกิ่งก้านอะมิโลเพกตินและขนาดโมเลกุลของอะมิโลส จะส่งผลต่อสมบัติความหนืดของสตาร์ช (Jane and Chen, 1992)

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ (2546) พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวจะแตกต่างกันตามพันธุ์ข้าว โดยพบว่าอุณหภูมิที่สตาร์ชเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงมีค่าสูงกว่าพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ โดยค่า pasting temperature อยู่ในช่วง 60.5-67.7 และ 69.2-76.5°C สำหรับสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำและสูง ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างอะมิโลสของสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลอะมิโลสมีลักษณะโครงสร้างแบบเกลียวม้วน ส่งเสริมให้โครงสร้างของสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายสตาร์ชในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ช โดยพบว่าค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พืชพันธุ์โลก 1 ปทุมธานี 1 กข 15 และสังข์หยด จะแนวโน้มให้ค่าสูงกว่าสตาร์ชกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เนื่องจากอะมิโลสสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมันได้จึงยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชทำให้ค่าความหนืดจึงลดต่ำลง

2.4.3.1 ความหนืดอินทรินสิก (intrinsic viscosity)

ในสารละลายเจือจางสายโพลิเมอร์จะถูกแยกออกจากกัน ค่าความหนืดอินทรินสิก $[\eta]$ ของโพลิเมอร์ในสารละลายจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของสายโพลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุล โครงสร้าง การกระจายตัวของสายกิ่งก้านของโพลิเมอร์ จำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล และคุณลักษณะของสารละลาย ความหนืดอินทรินสิกบ่งบอกถึง hydrodynamic volume ของโมเลกุลของโพลิเมอร์ (Launay *et al.*, 1986 และ Takeda *et al.*, 1987) โพลิเมอร์จะถูกทำให้ละลายที่ระดับความเข้มข้นหนึ่งในตัวทำละลาย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความหนืดของสารละลาย (solution viscosity) (η) เพิ่มขึ้นจากความหนืดของตัวทำละลาย (solvent viscosity) (η_s) โดยอัตราส่วนของ (η) ต่อ (η_s) เรียกว่า relative viscosity (η_r) ซึ่งจะเท่ากับอัตราส่วนของเวลาในการไหลของสารละลาย (t) ต่อตัวทำละลาย (t_s) ใน capillary viscometer ดังสมการที่ 1 นำค่า η_r มาคำนวณหาค่า specific viscosity (η_{sp}) ในสมการที่ 2 เพื่อนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายในสมการที่ 3 ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหา $[\eta]$ ได้

$$\text{Relative viscosity, } \eta_r = \frac{\eta}{\eta_s} = \frac{t}{t_s} \quad (1)$$

$$\text{Specific viscosity, } \eta_{sp} = \eta_r - 1 = \frac{\eta - \eta_s}{\eta_s} \approx \frac{t - t_s}{t_s} \quad (2)$$

$$\text{Reduced viscosity, } \eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (3)$$

เมื่อ η = solution viscosity

η_s = solvent viscosity

η_r = relative viscosity

η_{sp} = specific viscosity

η_{red} = reduced viscosity

t = เวลาในการไหลของสารละลาย

t_s = เวลาในการไหลของตัวทำละลาย

c = ความเข้มข้นของสารละลาย

ค่า $[\eta]$ สามารถหาได้เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่าต่ำมากหรือเข้าใกล้ศูนย์ดังสมการที่ (4)

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (4)$$

Colona และคณะ (1984) เปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนกับสารแขวนลอยของสตาร์ชข้าวสาลีก่อนผ่านกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่ความเร็วรอบ 10 rpm ความดันไอน้ำ 10 บาร์ (180 °C) พบว่าค่า $[\eta]$ ของสตาร์ชข้าวสาลีที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าเท่ากับ 182 (l/kg) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของสตาร์ชข้าวสาลีที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนซึ่งมีค่า $[\eta]$ เท่ากับ 188 (l/kg) ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชข้าวสาลีที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนผ่านกระบวนการพรีเจลาติไนซ์มีระดับการถูกทำลายที่สูงกว่า

Anastasiades และคณะ (2002) ศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีและลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชข้าวโพดพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่าค่า $[\eta]$ ขึ้นอยู่กับระดับการแตกหักของเม็ดสตาร์ชซึ่งขึ้นกับระดับความรุนแรงของการให้ความร้อน เมื่อนำผลิตภัณฑ์สุดท้ายมาละลายน้ำและวัดค่า $[\eta]$ พบว่า เมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นความร้อนของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า $[\eta]$ ลดลง เพราะเมื่อลูกกลิ้งอุณหภูมิสูงจะทำให้ระดับความรุนแรงของการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (Vallous *et al.*, 2002) นอกจากนั้นพบว่าค่า $[\eta]$ เปลี่ยนแปลงไปตามระดับของเหลวในช่องว่าง

ระหว่างลูกกลิ้ง และค่าความเร็วรอบของลูกกลิ้ง โดยพบว่าเมื่อระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งสูงขึ้น (4 และ 5 rpm) ค่า $[77]$ มีแนวโน้มลดลง

3. การดัดแปรสตาร์ช

เนื่องจากสตาร์ชดิบมีสมบัติเฉพาะซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการใช้ในระดับอุตสาหกรรมหรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะการผลิตบางประการ เช่น ต้องใช้ความร้อนและต้องใช้เวลาในการเจลาติไนเซชัน สูญเสียความหนืดได้ง่าย ไม่ทนต่อกรด ความร้อน และแรงเฉือนจากการกวน ไม่คงตัวต่ออุณหภูมิต่ำและการละลายหลังการแช่แข็ง จึงมีการนำสตาร์ชมาดัดแปรคุณสมบัติให้ตรงตามความต้องการ สตาร์ชดัดแปร(modified starch) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำสตาร์ช (starch) เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชสาลีมาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อนและ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ การดัดแปรสตาร์ชมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการให้เหมาะสมกับชนิดอาหารและกระบวนการแปรรูป (Light, 1990 อ้างโดย เอกพันธ์ แก้วมณีชัย, 2542) ซึ่งคุณลักษณะเกณฑ์ซึ่งบ่งต่างๆของสตาร์ชดัดแปรแต่ละประเภทจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การดัดแปรนั้นมีผู้แบ่งกลุ่มไว้หลายประเภทและหลายรูปแบบ ได้แก่ การดัดแปรทางเคมี (chemical modification) การดัดแปรทางกายภาพ (physical modification) และการดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnological modification)

3.1 การดัดแปรสตาร์ชข้าวด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์เซชัน

สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch) หรือสตาร์ชพรีเจล ทางการค้าเรียกว่า อัลฟา สตาร์ช (alpha starch) เป็นสตาร์ชดัดแปรทางกายภาพด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์ วิธีพรีเจลาติไนซ์เป็นการดัดแปรคุณสมบัติของสตาร์ชด้วยวิธีทางกายภาพ คือ การให้ความร้อนกับสตาร์ชที่ดูดซับน้ำอย่างเต็มที่ด้วยการผสมสตาร์ชให้กระจายอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในน้ำ เพราะสตาร์ชที่เกาะกันเป็นก้อนจะดูดน้ำได้ไม่เต็มที่ เมื่อผลิตเป็นสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์แล้วจะพองและให้ความหนืดในสารละลายต่ำ (Smith, 1982) จากนั้นเมื่อสตาร์ชสุกหรือเกิดเจลาติไนซ์นำไปทำแห้งและบดให้ละเอียด เครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้ง เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) เครื่องเอ็กทรูเดอร์ (extruder) เครื่องทำแห้งแบบพอง (spray dryer) กระบวนการผลิตที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ (Sheng, 1995) การผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์สามารถใช้ได้ทั้งสตาร์ชดิบและสตาร์ชดัดแปรทางเคมีชนิดต่างๆ โดยป้อนสตาร์ชในรูปสารแขวนลอยหรือแป้งเปียกลงในเครื่องทำแห้งจะต้องควบคุมสตาร์ชให้มีความหนาสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

(Powell, 1967) โดยทั่วไปจะใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์เป็นสารเพิ่มความหนืดในอาหารที่ได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย (Thomas and Atwell, 1997)

3.1.1 การผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่องเอ็กทราเตอร์

กระบวนการเอ็กทราชันสามารถนำมาใช้ผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ได้แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางเท่าวิธีอื่นๆ เอ็กทราเตอร์จะถูกนำไปใช้กับอุณหภูมิสูง เม็ดสตาร์ชจะถูกอัดอย่างหนาแน่นและถูกทำลายโครงสร้างด้วยความดันสูง ความร้อน และแรงเฉียร์ภายในเครื่องเอ็กทราเตอร์ สตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเอ็กทราชันจะออกมายังหัวไคภายนอกเครื่องและขยายตัว ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดัน สตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเอ็กทราชันจะแห้งและมีลักษณะเฉพาะมากขึ้น คุณสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเอ็กทราชันเป็นผลมาจาก อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วสกรู อัตราการป้อนของเอ็กทราเตอร์ และปริมาณความชื้นในสตาร์ช Elevina และคณะ (1997) ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ พบว่าสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเอ็กทราชันสามารถลดความชื้นได้ 10.21% นอกจากนี้ค่าการดูดซับน้ำ เปอร์เซ็นต์การละลาย และกำลังการพองตัวของสูงขึ้น (Thomas and Atwell, 1997)

3.1.2 การผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

การทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะเป็นวิธีพื้นฐานในการผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถผลิตได้โดยตรง ซึ่งกระบวนการผลิตของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งนั้นต้องมีกระบวนการผลิตที่ชัดเจนเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงและสม่ำเสมอ โดยทั่วไปเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมี 2 ชนิด คือ เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวและลูกกลิ้งคู่ การผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งมีทั้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว (single drum dryer) และแบบลูกกลิ้งคู่ (double drum dryer) กระบวนการผลิตแบบลูกกลิ้งเดี่ยว คือนำน้ำแป้งเข้มข้นประมาณ 30-40% (โดยน้ำหนัก) ของของแข็งมาป้อนระหว่าง application roll กับ ลูกกลิ้งที่ถูกทำให้ร้อน แต่การผลิตแบบลูกกลิ้งคู่ คือน้ำแป้งจะถูกป้อนระหว่างช่องว่างของลูกกลิ้งทั้งสอง โดยเริ่มจากการทำให้สตาร์ชสุกหรือเกิดเจลาติไนซ์ และทำให้แห้งโดยผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง สตาร์ชที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ฉาบบนผิวหน้าลูกกลิ้ง จากนั้นขูดออกด้วยใบมีดแล้วนำไปอบแห้งทันทีเพื่อป้องกันการเกิดรีโทรเกรดชัน บดสตาร์ชให้ละเอียด (Powell, 1967) นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีหนึ่ง คือ การเตรียมน้ำสตาร์ชเข้มข้นประมาณ 40-50% (โดยน้ำหนัก) แล้วนำเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งเป็นการทำให้เจลาติไนซ์พร้อมกับการทำแห้ง (Howling, 1974) อ้างโดย จำริญ อัจฉราภิรักษ์, 2537) การใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นวิธีการผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ที่เหมาะสมที่สุด (Smith, 1982) โดยทั่วไปการทำแห้งด้วยลูกกลิ้งคู่จะมีความหนืดสูงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว ส่วนผสมในอาหารอื่นๆ เช่น กัม สารลดแรงตึงผิว สารให้ความหวาน เกลือ และสารแต่งกลิ่นรสต่างๆ สามารถนำมาผสมรวมในน้ำแป้งเข้มข้นและนำไปผสมระหว่างกระบวนการทำแห้งได้ (Thomas and Atwell, 1997)

3.2 ผลการตัดแปรสตราซ์ด้วยวิธีพรีเจลาติไนเซชันต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตราซ์

Elevina และคณะ (1997) ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสตราซ์มันสำปะหลังที่ตัดแปรด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ความเข้มข้นของน้ำแป้ง 20% และ 50% (โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งเท่ากับ 152°C พบว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ให้ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการละลาย กำลังการพองตัว มีค่าสูงกว่าแป้งดิบ ความหนืดเริ่มต้นเท่ากับ 770 BU ซึ่งสูงกว่าแป้งดิบ (0 BU) อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์เท่ากับ 30°C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแป้งดิบ (60.8°C) ความหนืดสูงสุดเท่ากับ 780 BU ต่ำกว่าแป้งดิบ (900 BU) ความหนืดที่ 90°C เท่ากับ 100 BU ต่ำกว่าแป้งดิบ (380 BU) ความหนืดที่ 90°C หลังคงที่ 30 นาทีเท่ากับ 90 BU ต่ำกว่าแป้งดิบ (240 BU) ความหนืดที่ 50°C เท่ากับ 180 BU ต่ำกว่าแป้งดิบ (400 BU) และมีค่าการคืนตัวเท่ากับ -400 BU สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (-500 BU)

Waliszewski และคณะ (2003) ศึกษาการตัดแปรสตราซ์กล้วยพันธุ์ *Musa var. valery* โดยวิธีทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ พรีเจลาติไนซ์, phosphorylated, cross-linked phosphorylated และ hydroxypropylated พบว่าค่าการดูดซับน้ำของสตราซ์พรีเจลาติไนซ์มีค่าสูงกว่าสตราซ์ดิบในทุกระดับอุณหภูมิที่ทำการศึกษาและที่อุณหภูมิ 50°C และ 60°C มีค่าสูงกว่าสตราซ์ที่ถูกตัดแปรด้วยวิธีทางเคมี กำลังการพองตัวของสตราซ์พรีเจลาติไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ที่ระดับอุณหภูมิ 50-70°C มีกำลังการพองตัวสูงที่สุดและสูงกว่าแป้งดิบ เนื่องจากสตราซ์ดิบของกล้วยมีความสามารถในการละลายต่ำจึงมีการตัดแปรทางเคมีหรือวิธีพรีเจลาติไนซ์เพื่อช่วยเพิ่มการละลาย โดยที่อุณหภูมิ 50°C สตราซ์พรีเจลาติไนซ์มีค่าการละลายสูงกว่าสตราซ์ดิบและที่ 60°C สตราซ์พรีเจลาติไนซ์มีความสามารถในการละลายสูงที่สุด สตราซ์พรีเจลาติไนซ์ยังมีค่า L ต่ำที่สุดคือ มีสีเหลืองคล้ำ การศึกษาความแตกต่างของความใสแป้งเปียกในช่วงระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการวัดค่าความใสทุก 24 ชั่วโมง พบว่าสตราซ์พรีเจลาติไนซ์จะมีค่าสูงสุดและสูงกว่าสตราซ์ดิบ แต่สตราซ์ตัดแปรทุกชนิดมีแนวโน้มความใสลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจนถึง 72 ชั่วโมง การทดสอบความคงตัวต่อการแช่แข็งและหลอมละลาย 3 รอบ พบว่าสตราซ์พรีเจลาติไนซ์มีการจับน้ำออกจากเจล (17-27 %) มากกว่าสตราซ์ดิบ

สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ในแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเขียว สมบัติของแป้งพรีเจลาติไนซ์ชนิดต่างๆที่ได้นั้น พบว่าเมื่ออบเป็นผงละเอียดจะมีลักษณะแตกต่างไปจากแป้งดิบ

คือมีลักษณะเป็นแผ่นผงละเอียด มีความเลื่อมมันเป็นประกายสีขาวจนถึงเหลืองอ่อนและมีสีเขียวอ่อนในแป้งพรีเจลาตินซ์จากถั่วเขียว เมื่อสัมผัสจะมีความนิ่ม ไม่สากมือและไม่ลื่นเหมือนแป้งดิบ บางชนิดมีกลิ่นแป้งต้มสุกชัดเจน ความชื้นของแป้งพรีเจลาตินซ์ (7.7-10.6%) จะลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแป้งดิบ (10.3-11.9%) เนื่องจากได้ผ่านการทำแห้งอีกครั้งหนึ่ง โดยแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินซ์มีค่าความชื้นเท่ากับ 10.6% ค่า water activity ที่อุณหภูมิ 25°C ของแป้งพรีเจลาตินซ์จะมีค่าระหว่าง 0.455-0.580 และแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินซ์มีค่าเท่ากับ 0.536 ค่า bulk density ของแป้งพรีเจลาตินซ์อยู่ในช่วง 0.305-0.450 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแป้งดิบ โดยถ้ามีค่าต่ำจะเปลืองที่บรรจุมากกว่าและมีผลต่อการลอยตัวในน้ำทำให้ยากต่อการนำมาละลายน้ำ แป้งพรีเจลาตินซ์สามารถดูดซับน้ำได้สูงกว่าแป้งดิบมากถึง 10-20 เท่าตัว ขึ้นกับชนิดของแป้ง โดยสามารถดูดซับน้ำได้ระหว่าง 9-22 มิลลิลิตรต่อแป้ง 1 กรัม แป้งพรีเจลาตินซ์ชนิดต่างๆที่ผลิตได้สามารถกระจายตัวและพองตัวได้ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิห้องและให้สมบัติความหนืดแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้งและความเข้มข้น แป้งพรีเจลาตินซ์ทุกชนิดจะหนืดมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำแป้ง แป้งข้าวเหนียวพรีเจลาตินซ์จะให้ความหนืดสูงสุดและที่ระดับความเข้มข้น 10% จะหนืดขึ้นจนเป็นแป้งเปียกจึงไม่วัดค่า แป้งมันสำปะหลังพรีเจลาตินซ์มีความหนืดรองลงมา แต่ที่ระดับความเข้มข้น 3% จะมีความหนืดสูงสุดซึ่งเหมาะจะเลือกไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนืดสูงแต่ใช้ปริมาณแป้งต่ำ ส่วนแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินซ์จะมีความหนืดต่ำสุดซึ่งต่างจากข้าวเหนียวอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของแป้งซึ่งในข้าวเหนียวจะมีอะมิโลเพกตินสูงมาก ดังนั้นความหนืดของแป้งพรีเจลาตินซ์จะแตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบของแป้งและแหล่งที่มาของแป้ง

3.3 ปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชพรีเจลาตินซ์

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งต้องมีการปรับอุณหภูมิบนผิวหน้าลูกกลิ้งและความเร็วรอบของลูกกลิ้งให้สอดคล้องกับปริมาณความชื้นและความสามารถในการเกิดเจลของสตาร์ชแต่ละชนิด ในกรณีของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตได้แก่ ความดันไอน้ำ ความเร็วรอบ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง สภาพวะและคุณสมบัติของน้ำแป้ง และระดับของเหลวระหว่างลูกกลิ้ง (Kalogianni *et al.*, 2002)

3.3.1 อุณหภูมิและความดันไอน้ำ

ภานุมาศ รุ่งเรืองอารี (2541) ศึกษาระดับความดันไอน้ำที่เหมาะสมของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ในการผลิตแป้งข้าวพรีเจลาตินซ์จากแป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร โดยสภาพที่ทำการศึกษา คือ น้ำแป้งเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.25 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.01 นิ้ว ความดันไอน้ำ 3 ระดับ คือ 10 (105°C), 20 (115°C) และ 30 (122°C) ป้อนต่อตารางนิ้ว พบว่าที่ความดันไอน้ำ 30 ป้อนต่อตารางนิ้ว แผ่น

แป้งที่ได้จะหนาประคบติดกัน ส่วนที่ความดันไอน้ำ 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้วแผ่นแป้งที่ได้ยังไม่แห้ง เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไป ในขณะที่ความดันไอน้ำ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้วได้แผ่นแป้งที่แห้ง บาง และเรียบมัน ไม่ประคบติดกัน เนื่องจากเป็นสภาวะที่การระเหยเป็นไปอย่างช้าและสม่ำเสมอ เมื่อนำแป้งถูกรีดผ่านช่องว่างของลูกกลิ้งแผ่นแป้งยังคงเกาะติดกับผิวของลูกกลิ้ง ดังนั้นความดันไอน้ำ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้วจึงเหมาะสมที่สุด เมื่อนำมาศึกษาครรชนีการละลายน้ำ (water solubility index) และครรชนีการดูดซับน้ำ (water absorption index) เปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าดิบและแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กทราคเตอร์ พบว่าแป้งข้าวเจ้าดิบมีครรชนีการดูดซับน้ำและครรชนีการละลายน้ำต่ำกว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ โดยแป้งพรีเจลาติไนซ์มีครรชนีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 5.7-7.5 และดัชนีการละลายน้ำ 4.8-25.6% เนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชจับตัวแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นผลให้แป้งดิบไม่ละลายน้ำแต่สามารถพองตัวได้เล็กน้อย (อรพิน ภูมิภมร, 2533) แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีครรชนีการละลายน้ำน้อยกว่าแป้งที่ได้จากเอ็กทราคชันคือ 4.8% เพราะเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นระบบที่มีแรงเหวี่ยงน้อย (Alexandar, 1995) ทำให้การแตกสลายของโมเลกุลสตาร์ชเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อยทำให้ละลายน้ำได้น้อย (Colonna *et al.*, 1984) แต่ดูดซับน้ำได้มาก (Doublier *et al.*, 1986) ถึง 7.5% มากกว่าการเอ็กทราคชัน พื้นที่ผิวเป็นอีกปัจจัยในการดูดซับน้ำ (Colonna *et al.*, 1989) โดยวิธีทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าการเอ็กทราคชัน (Colonna *et al.*, 1984) เมื่อนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Brabender-Viscoamylograph พบว่ามีความหนืดที่ 30°C เท่ากับ 93 BU อุณหภูมิเริ่มการเจลาติไนซ์เท่ากับ 66°C ความหนืดที่ 95°C 360 BU ซึ่งเท่ากับความหนืดสูงสุด ความหนืดหลังจากอุณหภูมิไว้ที่ 95 °C นาน 15 นาที 260 BU และความหนืดเมื่อลดอุณหภูมิมาที่ 50°C เท่ากับ 620 BU ซึ่งคิดเป็นค่าการคืนตัวเท่ากับ 260 BU เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer เปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าดิบพบว่า แป้งข้าวเจ้าดิบมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์เท่ากับ 78.6°C แต่แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่าต่ำกว่าคือเท่ากับ 66.2°C แป้งข้าวเจ้าดิบมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 246 RVU ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่มีค่าเท่ากับ 184 RVU ความหนืดที่ 30°C ของแป้งข้าวเจ้าดิบเท่ากับ 5 RVU ซึ่งต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์จากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งซึ่งเท่ากับ 93 RVU ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Anderson และคณะ(1969) และ Doublier และคณะ (1986) แสดงว่าแป้งข้าวเจ้าดิบมีการดูดซับน้ำและการละลายน้ำได้น้อย การทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีแรงเหวี่ยงกระทำต่อแป้งในระหว่างการทำให้สุกต่ำ (Ben-Gera *et al.*, 1986) ซึ่งอะมิโลสละลายออกมาเพียงบางส่วน (Doublier *et al.*, 1986) เมื่อละลายในน้ำจะมีการดูดซับน้ำได้สูงและมีการละลายต่ำ

Elevina และคณะ (1997) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ พบว่าระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงหน้าที่และสมบัติทางรีโอโลยีของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

3.3.2 ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งและความเร็วรอบ

ลัตนา ยังประสิทธิ์พร (2532) ศึกษาสภาวะการตัดแปรแป้งข้าวพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ 2 สภาวะ คือ สภาวะแรกมีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.010 นิ้วและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที สภาวะที่สองมีระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.004 นิ้วและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 28 รอบต่อนาที โดยควบคุมปัจจัยต่อไปนี้ให้คงที่ คือ น้ำแป้งเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งลดลงและความเร็วรอบของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นมีค่าความหนืดที่ 30°C เท่ากับ 85 BU ซึ่งสูงกว่าที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.010 นิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที มีความหนืดเพียง 30 BU เนื่องจากเมื่อระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งลดลงทำให้น้ำแป้งได้รับความร้อนจากผิวลูกกลิ้งมากกว่าการที่ลูกกลิ้งอยู่ห่างกัน ช่วยทำให้เม็ดสตาร์ชเจลาติไนซ์ได้ดี (Shimm, 1976) อีกทั้งระยะห่างที่ลดลงยังทำให้แผ่นแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์บางมากขึ้น จึงบดเป็นผงได้ละเอียดและกระจายได้ทั่วถึงซึ่งช่วยให้ละลายและเกิดความหนืดได้ง่ายขึ้น เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์และแป้งข้าวเจ้า พบว่าแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์มีความโปร่งแสงมากกว่า แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์มีความชื้นเท่ากับ 5.22% แต่แป้งข้าวเจ้ามีความชื้น 9.63% ความหนืดที่ 30°C เท่ากับ 85 BU ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (0 BU) อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์เท่ากับ 61.5°C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (84°C) ความหนืดสูงสุดเท่ากับ 320 BU ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (410 BU) ความหนืดที่ 95°C เท่ากับ 280 BU สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (100 BU) ความหนืดที่ 95°C หลังคงที่ 15 นาทีเท่ากับ 270 BU ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (380 BU) ความหนืดที่ 50°C เท่ากับ 620 BU ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (780 BU) และมีค่าการคืนตัวเท่ากับ 300 BU ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (400 BU) แป้งและค่าการดูดซับน้ำของแป้งพรีเจลาติไนซ์ (hydration capacity) เท่ากับ 11.54 เท่า ซึ่งสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (6.43 เท่า) เนื่องจากแป้งพรีเจลาติไนซ์มีความชื้นต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า

สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) ศึกษาความเร็วรอบของลูกกลิ้งในช่วง 2-14 รอบต่อนาทีในการผลิตแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่สภาวะคงที่ ดังนี้ ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว และน้ำแป้งเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) พบว่าความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เหมาะสม คือ 12 รอบต่อนาที จากนั้นนำมาหาสภาวะที่

เหมาะสมของระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 0.006, 0.01 และ 0.1 นิ้ว โดยควบคุมปัจจัยต่อไปนี้เป็นที่ น้ำ แปะงเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที พบว่าการปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็น 0.006 นิ้ว จะเกิดแผ่นฟิล์มที่บางเกินไป ร้อนเป็นผงฟูกระจาย เมื่อถูกใบมีดชุดส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำมาก ในกรณีที่มีระยะห่าง เท่ากับ 0.1 นิ้ว พบว่าเมื่อน้ำแปะงลงไปจะไหลผ่านช่องว่างทันที เหลือส่วนที่ฉาบบริเวณผิวลูกกลิ้ง เล็กน้อยทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำเช่นกัน ดังนั้นระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เหมาะสมจากการ ทดลองนี้เท่ากับ 0.01 นิ้ว ลักษณะปรากฏของแปะงข้าวเจ้าและแปะงข้าวเหนียวพรีเจลาติไนซ์ คือ แผ่น บางเป็นเงาวาว สีขาว มีกลิ่นแปะงสุก เนื้อสัมผัสหยาบ แต่ลักษณะปรากฏของแปะงมันสำปะหลัง คือ แผ่นบางเป็นเงาวาว สีขาว ไม่มีกลิ่นแปะงสุก เนื้อสัมผัสหยาบ และลักษณะปรากฏของแปะงถั่ว เขียวพรีเจลาติไนซ์จะเหมือนแปะงมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ แต่มีสีเขียวอ่อน เมื่อเปรียบเทียบค่า การดูดซับน้ำพบว่าแปะงพรีเจลาติไนซ์ทุกชนิดมีค่าสูงกว่าแปะงดิบ โดยค่าการดูดซับน้ำของแปะงข้าว เหนียวพรีเจลาติไนซ์ (21.0) มีค่าสูงกว่าแปะงข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ (9.0) แต่ใกล้เคียงกับแปะงมัน สำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ (22.0) และแปะงถั่วเขียวพรีเจลาติไนซ์มีค่าเท่ากับ (2.5)

ภานุมาศ รุ่งเรืองอารี (2541) ศึกษาระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เหมาะสมของเครื่อง ทำแปะงแบบลูกกลิ้งคู่ในการผลิตแปะงข้าวพรีเจลาติไนซ์จากแปะงข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร โดยสภาวะ ที่ทำการศึกษาคือ น้ำแปะงเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่งมี อุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งเท่ากับ 130°C ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.25 รอบต่อนาที ปรับ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 3 ระดับ คือ 0.01, 0.015, 0.02 นิ้ว พบว่าทุกสภาวะการทดลองได้แผ่นแปะง หนาประกบติดกัน เพราะมีอุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งสูงประกบกับความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่ำ ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์ได้มาก ความหนืดเพิ่มมากขึ้น แผ่นแปะงที่ถูกรีดออกมาประกบ ติดกันเพราะแผ่นแปะงด้านที่ติดกับลูกกลิ้งแห้งเร็วมากทำให้ไม่เกาะติดลูกกลิ้งจึงได้แผ่นแปะงที่ไม่ เรียบ อีกทั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งจะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยที่ระยะห่างระหว่าง ลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว จะได้แผ่นแปะงที่ดีที่สุดที่สุด แห้ง ไม่เรียบ ผิวย่น ดังนั้นจึงเลือกระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง เท่ากับ 0.01 นิ้ว

3.3.3 สภาวะและสมบัติของน้ำแปะง

ลลิตา ยังประสิทธิ์พร (2532) ศึกษาเปรียบเทียบสภาวะเริ่มต้นของน้ำแปะงระหว่าง การใช้น้ำแปะงข้าวเจ้าเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) มาผลิตทันที กับการตั้งแช่น้ำแปะงทิ้งไว้ 15 ชั่วโมง เพื่อให้ดูดซับน้ำอย่างเต็มที่ก่อนเจลาติไนซ์ พบว่าทำให้ค่าความหนืดที่ 30°C เท่ากับ 60 BU ซึ่งสูง กว่าให้น้ำแปะงมาผลิตทันที (30 BU) เนื่องจากโปรตีนที่ล้อมรอบเม็ดสตาร์ชกระจายตัวแยก ออกไป เม็ดสตาร์ชจึงสามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากและทั่วถึงยิ่งขึ้นเมื่อให้ความร้อนจึงสามารถเกิด

เจลาตินไนซ์ได้มากขึ้น อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาตินไนซ์ของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาตินไนซ์ (60°C) ค่าความหนืดสูงสุด (310 BU) ค่าความหนืดที่ 50°C (610 BU) และค่าการคืนตัว (300 BU) ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าดิบ (84°C) แต่พบว่ามีค่าความหนืดที่ 95°C สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าดิบ (100 BU)

สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) หาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำแป้ง (แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเขียว) ที่ความเข้มข้น 25% 30% 35% 40% และ 45% (โดยน้ำหนัก) โดยควบคุมสภาวะความดันไอน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.010 นิ้ว พบว่าแป้งข้าวเจ้าควรใช้น้ำแป้งเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) จึงให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 98.1% (โดยน้ำหนัก) แป้งข้าวเหนียวควรใช้น้ำแป้งเข้มข้น 35% (โดยน้ำหนัก) จึงให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 92.1% (โดยน้ำหนัก) แป้งมันสำปะหลังควรใช้น้ำแป้งเข้มข้น 40% (โดยน้ำหนัก) จึงให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 88.2% (โดยน้ำหนัก) แป้งถั่วเขียวควรใช้น้ำแป้งเข้มข้น 35% (โดยน้ำหนัก) จึงให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 98.1% (โดยน้ำหนัก) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะแป้งดิบเป็นสำคัญ ที่ระดับความเข้มข้นต่ำแผ่นแป้งที่ผลิตได้บางมากเมื่อใบมีดขูดจึงเป็นระลอกไม่เป็นแผ่นทำให้สูญเสียไปมาก ในขณะที่น้ำแป้งความเข้มข้นสูงจะให้แผ่นแป้งที่หนาเกินไปและแห้งไม่ทันเกาะติดกันเป็นแผ่นบริเวณใบมีดทำให้สูญเสียได้มาก นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งพรีเจลาตินไนซ์จากแป้งข้าวเหนียวให้ความหนืดสูงสุด รองลงมาคือแป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเขียว และแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ ดังนั้น ความหนืดของแป้งพรีเจลาตินไนซ์แตกต่างกันตามองค์ประกอบของแป้ง เช่น แป้งข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพกตินสูงที่สุดจึงให้ความหนืดมากกว่าแป้งชนิดอื่นๆ ความชื้นของแป้งพรีเจลาตินไนซ์จะลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแป้งดิบ พบว่าแป้งดิบมีความชื้นอยู่ระหว่าง 10.3-11.9% ส่วนแป้งพรีเจลาตินไนซ์มีความชื้นอยู่ระหว่าง 7.7-10.6% ค่า water activity ที่อุณหภูมิ 25°C มีค่าระหว่าง 0.455-0.580 ค่า bulk density ของแป้งพรีเจลาตินไนซ์จะต่ำกว่าแป้งดิบซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.305-0.450 กรัมต่อมิลลิลิตร และแป้งพรีเจลาตินไนซ์จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูงกว่าแป้งดิบมากถึง 10-20 เท่าตัว โดยจะดูดซับไว้ได้ระหว่าง 9-22 มิลลิลิตรต่อแป้ง 1 กรัม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง

จำริญ อัจฉราภีรักษ์ (2537) ศึกษาการผลิตแป้งพรีเจลาตินไนซ์จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรด้วยวิธีโครอสลิงด้วยโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตเข้มข้น 0.2% อุณหภูมิ 30°C pH 11.0 นาน 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.01 นิ้ว ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 4 รอบต่อนาที อุณหภูมิลูกกลิ้งอยู่ในช่วง 130-140°C แป้งดัดแปรที่ได้มีความชื้นลดลง สามารถละลายและดูดซับน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ดีและให้ความหนืดทันทีเมื่อเทียบกับแป้งดิบ พบว่าแป้งพรีเจลาตินไนซ์จากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรแบบโครอสลิงก็ถึง วัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield ที่ความ

เข้มข้น 5% (2395 cps) สูงกว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์จากแป้งมันสำปะหลัง (1974 cps) แต่ต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง (2613 cps) และแป้งมันสำปะหลังตัดแปร (2781cps) เพราะการตัดแปรโดยวิธีโครสลิงค์กึ่งทำให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถรักษาความหนืดไว้ได้ในสภาวะอุณหภูมิสูง (Wurzburg, 1986) นอกจากนี้พบว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ทั้ง 2 แบบสามารถกระจายและละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ดีให้ความหนืดทันที

จันทรเพ็ญ ไชยนุ้ย และทิพย์สุดา ศาสกุล (2545) ศึกษาการตัดแปรแป้งข้าวอะมิโลสสูงพันธุ์เฉียงพัทลุงและลูกแดงปัตตานีโดยวิธีพรีเจลาติไนซ์ชันด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ 20% 30% 40% และ 50% (โดยน้ำหนัก) และผลของอุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้ง 120, 130 และ 140°C โดยใช้ความเร็วรอบ 1.5 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.03 นิ้ว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับน้ำ ค่าการละลาย รวมทั้งค่าความหนืดที่อุณหภูมิห้องและที่ 40°C มีแนวโน้มลดลงในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และเมื่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าดูดซับน้ำ และความหนืดของแป้งทั้ง 2 อุณหภูมิ มีแนวโน้มลดลงในข้าวทั้ง 2 พันธุ์ แต่อุณหภูมิที่ผิวหน้าของลูกกลิ้งไม่มีผลต่อค่าการละลายอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าการละลายมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นต่ำปริมาณของแข็งในน้ำแป้งมีน้อยเมื่อสัมผัสความร้อนจากลูกกลิ้งทำให้เม็ดสตาร์ชมีโอกาสเกิดเจลาติไนซ์และพองตัวสูงกว่ากรณีที่มีปริมาณของแข็งสูง แป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ได้จึงสามารถดูดซับน้ำได้ดีส่งผลให้ความหนืดสูงด้วยเช่นกัน

4. การใช้ประโยชน์ของแป้งและสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์

สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติสามารถกระจายตัวและละลายในน้ำเย็นหรืออุณหภูมิห้องได้ สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าสตาร์ชดิบ ให้ความหนืดได้ทันทีช่วยให้สะดวกและรวดเร็วเมื่อใช้ในระบบอาหารที่ไม่ต้องการใช้ความร้อน มักนิยมใช้กันในอาหารประเภทขนมพุดดิ้ง ไล้พายสำเร็จรูป น้ำเกรวี่ น้ำซอส ซุปผง มีการใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ผสมกับเจลาตินในขนมหวานชนิดที่ตีให้ขึ้นฟู (whipped desserts) สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเพื่อช่วยทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน (binder) เพื่ออุ้มน้ำและรักษาความชุ่มชื้น

4.1 การทดแทนแป้งสาลีและแป้งชนิดอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหาร

ลัลนา ยังประสิทธิพร (2532) ศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ในขนมจีน พบว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมทำขนมจีนได้อย่างเหมาะสมในอัตราส่วน 15-20% ต่อน้ำหนักแป้งข้าวเจ้า และใช้น้ำ 140-150% ของน้ำหนักแป้งพรีเจลาติไนซ์รวม

กับแป้งข้าวเจ้า เมื่อนำขนมจีนที่ผลิตได้มาทดสอบชิมเปรียบเทียบกับขนมจีนที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า 30% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในค่าการต้านแรงกด ซึ่งพบว่าค่าแรงกดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งพรีเจลาติไนซ์ลดลงและปริมาณสตาร์ชสูงขึ้น

สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) ศึกษาการผลิตแป้งชูบทอดโดยใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์จากแป้งข้าวเจ้า พบว่าจะช่วยเพิ่มความหนืด ทำให้การเกาะติดของแป้งสม่ำเสมอและทั่วถึงดี ซึ่งช่วยประหยัดและลดปริมาณแป้งที่เกาะติดกับอาหารได้ อีกทั้งเนื้อสัมผัสนุ่มและกลิ่นรสดี

จำริญ อัจฉราภิกษย์ (2537) ผลิตขนมปังโดยใช้แป้งพรีเจลาติไนซ์จากแป้งมันสำปะหลังไปแทนที่แป้งมันสำปะหลังบางส่วน โดยแทนที่ในปริมาตร 10% 20% และ 30% ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง พบว่าเมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นเนื้อในของขนมปังจะนุ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากลักษณะของขนมปังที่ได้และค่าปริมาตรจำเพาะ พบว่าการแทนที่แป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ในอัตราส่วน 20% ให้ผลดีที่สุด

มีการนำแป้งพรีเจลาติไนซ์ทดแทนแป้งสาลีไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมเค้กเพื่อช่วยดูดซับน้ำและอุ้มฟองอากาศซึ่งพบว่าขนมเค้กมีความชุ่มชื้นดี ปริมาตรมากขึ้น และช่วยเพิ่มความสดและลักษณะเนื้อเค้กที่สม่ำเสมอ (Graham, 1977 อ้างโดย สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2534)

4.2 การเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหาร

สตาร์ชมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันได้เพราะสามารถทำให้มีความรู้สึกใกล้เคียงน้ำมัน คือรู้สึกลิ้นภายในปาก มีการนำสตาร์ชข้าวมาใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันเนื่องจากเม็ดสตาร์ชข้าวมีขนาดเล็กเท่ากับขนาดของเม็ดไขมันที่ถูกไฮโดรจิไนซ์และสตาร์ชข้าวก็ยังให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหมือนกับไขมัน (Champagne, 1996) นอกจากนี้พบว่ามีการนำสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์มาใช้เป็นส่วนทดแทนไขมันในอาหารกลุ่มที่มีความชื้นสูง เช่น มาคาริน น้ำสลัด และซอส (Akoh, 1998)

Tung และ Jones (1981) ศึกษาผลขององค์ประกอบ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของมายองเนสและน้ำสลัด ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 3 วัน พบว่าอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำของมายองเนสและน้ำสลัดมีโครงสร้างแตกต่างกัน โดยน้ำสลัดมีเม็ดไขมันน้อยกว่ามายองเนสมาก และมีโครงสร้างร่างแหที่มีรูปร่างไม่แน่นอนระหว่างเม็ดไขมันเนื่องจากมีการนำแป้งพรีเจลาติไนซ์มาใช้ทำหน้าที่เพิ่มความหนืดของน้ำสลัดและหน่วงเม็ดไขมันไม่ให้รวมตัวกัน สำหรับมายองเนสพบว่าโครงสร้างส่วนใหญ่ คือ เม็ดไขมันที่มีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก กระจายตัวอย่างหนาแน่นในโครงสร้าง แต่ไม่พบโครงสร้างที่เป็นร่างแหเนื่องจากในสูตรมีปริมาณแป้งน้อยมาก

สมจิต สุรพัฒน์ (2541) ศึกษาการใช้สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์เป็นสารทดแทนไขมันในไอศกรีมกะทิ พบว่าเมื่อใช้สารทดแทนไขมันเพิ่มมากขึ้น มีผลให้การขึ้นฟูและความหนืดมีแนวโน้มสูงขึ้น ต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้เสีฐรูปร่าง แต่ไม่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีมมากนัก และพบว่าไอศกรีมกะทิไขมันต่ำสามารถเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าวและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์
2. เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาติไนเซชันด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะต่างๆ
3. ศึกษาการนำสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ โดยคัดเลือกสมบัติของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์จากสภาวะการผลิตที่มีค่าความหนืดปรากฏใกล้เคียงกับสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ทางการค้า

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. วัตถุดิบ

- สตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากบริษัทกรุงเทพสตาร์ช อินดัสเทียล จำกัด
- ข้าวเจียงจากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง จังหวัดพัทลุง
- สตาร์ชพรีเจลาตินซ์จากบริษัท ซีโนไทยสตาร์ช จำกัด
- วัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำสลัด ได้แก่ น้ำมัน ไข่ไก่ นมข้นหวาน น้ำส้มสายชู 5% เกลือ มัสตาร์ด

2. สารเคมี

- สารเคมีที่ใช้ในการสกัดสตาร์ช คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคลอไรด์ และ เอทานอล 95% (commercial grade)
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ กรดซัลฟูริก คอปเปอร์ซัลเฟต โพแทสเซียมซัลเฟต โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไฮโดรคลอริก กรดบอริก โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเตต เมทิลีนบลู เมทิลเรด แอลกอฮอล์ สารละลายไอโอดีน (analytical grade)
- สารเคมีที่ใช้ในการวัดขนาดอนุภาคเม็ดไขมัน คือ โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (analytical grade)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับผลิตสตาร์ชข้าว

- เครื่องโม่แป้ง ยี่ห้อ central ประเทศไทย
- เครื่องบดผสม ยี่ห้อ Shape รุ่น EM-11 ประเทศญี่ปุ่น
- ตู้อบลมร้อนแบบถาด ประเทศไทย

- เครื่องโฮโมจิไนส์เซอร์ ยี่ห้อ IKA รุ่น RW20.n ประเทศเยอรมัน
- เครื่องเหวี่ยงแยก ยี่ห้อ Hittich รุ่น Universal 16 ประเทศเยอรมัน
- ตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมครอน ยี่ห้อ Fritsch ประเทศเยอรมัน

2. อุปกรณ์สำหรับการคัดแปรสตาซ์ข้าวด้วยวิธีพรีเจลาตินซ์

- เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ประเทศไทย
- เครื่องบดผสม ยี่ห้อ Shape รุ่น EM-11 ประเทศญี่ปุ่น
- ตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมครอน ยี่ห้อ Fritsch ประเทศเยอรมัน

3. อุปกรณ์สำหรับการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ

- เครื่องโฮโมจิไนส์เซอร์ ยี่ห้อ IKA รุ่น RW20 digital ประเทศเยอรมัน

4. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและกายภาพ

- เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ Sartorius ประเทศเยอรมัน
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa รุ่น 1000C ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AL204 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องกวน (Magnetic Stirrer) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น LR 49683C ประเทศอังกฤษ
- เครื่อง vortex mixer ยี่ห้อ IKA รุ่น MS1 ประเทศเยอรมัน
- เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ LMS รุ่น Vs-8480SR-L ประเทศเกาหลี
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ ThermoSpectronic รุ่น G-20 ประเทศอังกฤษ
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น W350 ประเทศเยอรมัน
- นาฬิกาจับเวลา
- กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BHS ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องถ่ายภาพแบบอิเล็กตรอน Scanning Electron Microscopy ยี่ห้อ SEM รุ่น JSM-5800LV ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องวัดขนาดอนุภาค Particle Size Analyser ยี่ห้อ COULTER รุ่น LS320 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องวัดปริมาณผลึก X-ray Diffractometer ยี่ห้อ Phillips รุ่น X'Pert MPD ประเทศเนเธอร์แลนด์

- เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transfer Spectrometer) ยี่ห้อ Bruker รุ่น Equinox 55 ประเทศเยอรมัน
- เครื่องวัดความหนืด (Rapid Visco Analyzer) ยี่ห้อ Newport Scientific รุ่น RVA-4 ประเทศออสเตรเลีย
- เครื่องวัดความหนืด (Rheometer) ยี่ห้อ Haake รุ่น RheoStressRS75 ประเทศเยอรมัน

วิธีการทดลอง

1. การผลิตสตาร์ชข้าวเหนียว

นำแป้งข้าวที่ได้จากการโม่เปียกแช่ในสารละลาย 5% NaCl ปริมาตร 4 เท่าของแป้ง แล้วทำการกวนนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 2500 rpm นำตะกอนแป้งที่ได้แช่ใน 70% ethanol ปริมาตร 4 เท่าของแป้งแล้วทำการกวนนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2500 rpm แล้วนำตะกอนแป้งที่ได้แช่ในสารละลาย 0.35% NaOH ทำการกวนนาน 12 ชั่วโมง จากนั้นวางทิ้งไว้ข้ามคืนให้แป้งตกตะกอน เติสารละลายส่วนใสออกแล้วล้างตะกอนแป้งด้วยน้ำกลั่น (2 ครั้ง) โดยเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1 เท่าของตะกอนแป้ง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2500 rpm แล้วปรับพีเอชเป็น 7 ด้วย 1 M HCl แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง จากนั้นนำสตาร์ชไปอบที่อุณหภูมิ 45°C จนความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 13% (โดยน้ำหนักเปียก) (ดัดแปลงจากวิธีของรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตและคณะ, 2546)

2. การศึกษาสมบัติของสตาร์ชข้าวดิบ

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าว

นำสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้จากข้อ (1) สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ สตาร์ชข้าวเหนียวมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า (AOAC, 2000) และ ปริมาณอะมิโลส (Shanthy *et al.*, 1980)

2.2 สมบัติทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าว

ศึกษาลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ สตาร์ชข้าวเหนียวพัทลุงที่ผลิตได้ในข้อ 1 ดังนี้

2.2.1 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ช

ทำการศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้ในข้อ 1 ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 100 2500 และ 5000 เท่า

2.2.2 ขนาดและการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ช

ศึกษาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้ในข้อ 1 ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer (PSA) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำสตาร์ชข้าวประมาณ 0.5 g เติมลงในน้ำกลั่นแล้วทำให้เกิดการกระจายตัวด้วยเครื่อง ultrasonic ประมาณ 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดขนาดและการกระจายตัวของขนาดด้วยเครื่อง PSA ทำการวัดค่าครอบคลุมขนาดอนุภาค 0.05 ถึง 880 μm

2.2.3 ชนิดและปริมาณผลึก

ศึกษาชนิดและปริมาณผลึกของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้ในข้อ 1 ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) โดยทำการตรวจสอบการแทรกสอดของรังสี X-ray ที่มุม 2θ ในช่วง 4-34 (40 kv, 30 mA, $\lambda_{\alpha} = 0.154 \text{ nm}$) แล้วทำการคำนวณค่าปริมาณผลึก และชนิดของผลึก (Zobel, 1988)

2.2.4 Short-rang molecular order

ศึกษาอัตราส่วนโมเลกุลที่จัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ต่อสัญญาณของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้ในข้อ 1 ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) โดยใช้เซลล์วัดตัวอย่างชนิด attenuated total reflectance (ATR) แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความถี่ในช่วง $1300\text{-}800 \text{ cm}^{-1}$ และที่อุณหภูมิ 25°C

3. การศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์

3.1 การผลิตสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์

ผลิตสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (ขนาดความยาว 37 cm และเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm) ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.2 mm โดยเตรียมสารแขวนลอยของสตาร์ชข้าว แล้วนำมาป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์ดังนี้

3.1.1 ศึกษาผลของปริมาณอะมิโลส

ศึกษาโดยใช้ตัวอย่างสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ สตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียวพัทลุง โดยควบคุมสภาวะการผลิต คือ ความเข้มข้นของสตาร์ช 35% (โดยน้ำหนักแห้ง) ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 110°C ทำการควบคุมความชื้นสุดท้ายของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ได้ไม่เกิน 13% (โดยน้ำหนักเปียก) บรรจุในถุงป้องกันความชื้นและเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดจนวิจัย

3.1.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง

ศึกษาอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 3 ระดับ คือ 110°C 117°C และ 123 °C ในสตาร์ชข้าวทั้ง 3 ชนิด (ดังข้อ 3.1.1) โดยควบคุมสภาวะการผลิต คือ ความเข้มข้นของสตาร์ช 35% (โดยน้ำหนักแห้ง) และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm ทำการควบคุมความชื้นสุดท้ายของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ได้ไม่เกิน 13% (โดยน้ำหนักเปียก) บรรจุในถุงป้องกันความชื้นและเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดจนวิจัย

3.1.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสตาร์ช

ศึกษาความเข้มข้นของสตาร์ชข้าว 2 ระดับ คือ 30% และ 35% (โดยน้ำหนักแห้ง) ในสตาร์ชข้าวทั้ง 3 ชนิด (ดังข้อ 3.1.1) โดยควบคุมสภาวะการผลิต คือ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 110°C ทำการควบคุมความชื้นสุดท้ายของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ได้ไม่เกิน 13% (โดยน้ำหนักเปียก) บรรจุในถุงป้องกันความชื้นและเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดจนวิจัย

3.1.4 ศึกษาผลของความเร็วยรอบของลูกกลิ้ง

ศึกษาความเร็วยรอบของลูกกลิ้ง 2 ระดับ คือ 2 และ 4 rpm ในสตาร์ชข้าวทั้ง 3 ชนิด (ดังข้อ 3.1.1) โดยควบคุมสภาวะการผลิต คือ ความเข้มข้นของสตาร์ช 35% (โดยน้ำหนักแห้ง) และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 110°C ทำการควบคุมความชื้นสุดท้ายของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ได้ไม่เกิน 13% (โดยน้ำหนักเปียก) บรรจุในถุงป้องกันความชื้นและเก็บที่อุณหภูมิ 4°C ตลอดจนวิจัย

3.2 การศึกษาสมบัติของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์

ศึกษาสมบัติของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้จากข้อ 3.1 ดังต่อไปนี้

3.2.1 ลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์

ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของสตาร์ชข้าวที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาติไนเซชันที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ (ดังข้อ 3.1) ดังนี้ ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชข้าวด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ตามวิธีข้อ 2.2.1 ขนาดและการกระจายตัวของขนาดเม็ด

สตาร์ชข้าวด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ตามวิธีข้อ 2.2.2 ชนิดของโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ตามวิธีข้อ 2.2.3 และศึกษา short-range molecular order ด้วยเครื่อง Fourier transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ตามวิธีข้อ 2.2.4

3.2.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์

3.2.2.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลาย (water absorption and water solubility indices)

ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ซึ่งผลิตที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ (ข้อ 3.1) โดยชั่งตัวอย่างสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ 0.25 g (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยง เติมน้ำกลั่น 10 ml ผสมให้เข้ากันนำไปเขย่าในเครื่อง shaking incubator ที่อุณหภูมิ 30°C ความเร็วรอบ 174 rpm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 rpm เป็นเวลา 15 นาที แยกส่วนใสที่ได้ลงในจานระเหยที่ทราบน้ำหนักแล้ว ทำการระเหยส่วนใสบนอ่างน้ำเดือดจนแห้ง แล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาส่วนที่สามารถละลายได้ (WSI) ดังสมการที่ (5) นำตะกอนสตาร์ชส่วนที่เหลือจากการแยกเหวี่ยงมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำของสตาร์ช (WAI) ดังสมการที่ (6) (ดัดแปลงจากวิธีของ Anderson *et al*, 1969) ทำการเปรียบเทียบผลกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการพรีเจลาติไนซ์

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้งเริ่มต้น}} \quad (5)$$

$$\text{WAI (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนสตาร์ชหลังการปั่นเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้งเริ่มต้น}} \quad (6)$$

เมื่อ WSI = ความสามารถในการละลายน้ำของสตาร์ช (water solubility indices)

WAI = ความสามารถในการดูดซับน้ำของสตาร์ช (water absorption indices)

3.2.2.2 ความหนืดอินทรีนสิก (intrinsic viscosity)

วิเคราะห์ความหนืดอินทรีนสิกของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ซึ่งผลิตที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ (ข้อ 3.1) โดยเตรียมสารละลายสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ความเข้มข้น 3% (โดยน้ำหนักแห้ง) ในสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (5 M) โดยให้ความร้อนแก่สารละลายที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 10 นาที กวนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วนำสารละลายที่กรองได้ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นในช่วง

1-3 mg/ml จำนวน 5 ความเข้มข้น วัดค่าความหนืดของสารละลายสตาร์ชทั้ง 5 ความเข้มข้น และความหนืดของน้ำกลั่นด้วย capillary tube viscometer โดยจับเวลาการไหลของสาร (efflux time) คำนวณค่าความหนืดสัมพัทธ์ (relative viscosity, η_r) ด้วยสมการที่ (7) และคำนวณค่าความหนืดอินทรินสิก (intrinsic viscosity, $[\eta]$) ด้วยสมการที่ (8) (Noosuk *et al.*, 2005) และทำการเปรียบเทียบผลกับสตาร์ชข้าวที่ไม่ผ่านการพรีเจลาติไนเซชัน

$$\eta_r = \frac{t}{t_0} \quad (7)$$

$$\eta_r = 1 + [\eta]c \quad (8)$$

เมื่อ	η_r	=	ค่าความหนืดสัมพัทธ์ (relative viscosity)
	$[\eta]$	=	ค่าความหนืดอินทรินสิก (intrinsic viscosity)
	t	=	เวลาการไหล (efflux time) ของสารละลายสตาร์ช (วินาที)
	t_0	=	เวลาการไหล (efflux time) ของน้ำกลั่น (วินาที)
	c	=	ความเข้มข้นของสตาร์ช (กรัมต่อมิลลิลิตร)

3.2.2.3 สมบัติการเกิดสตาร์ชเพสต์ (pasting properties)

ศึกษาสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ซึ่งผลิตที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ (ข้อ 3.1) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) โดยเตรียมสตาร์ชเข้มข้น 12% (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิและเวลาให้ความร้อนดังนี้ ช่วงแรกเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 25°C ให้สูงขึ้นในอัตรา 14°C /min จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 95°C คงไว้ที่อุณหภูมินี้ 3 นาที จากนั้นค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงในอัตราเดียวกันจนถึงอุณหภูมิ 25°C คงไว้ที่อุณหภูมินี้ 5 นาที บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ วิเคราะห์ค่า cold peak viscosity (ค่าความหนืดสูงสุดในช่วง 0-2.33 min) ค่า hot peak viscosity (ค่าความหนืดสูงสุดในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 95°C) ค่า breakdown ค่า setback และค่า final viscosity (Whalen *et al.*, 1997) ทำการเปรียบเทียบผลกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการพรีเจลาติไนเซชัน

3.2.2.4 พฤติกรรมการไหลของสตาร์ช (flow behavior)

ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสตาร์ชข้าวก่อนการคัดแปรและสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ซึ่งผลิตที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ (ข้อ 3.1) โดยเตรียมสตาร์ชเข้มข้น 4 % (โดยน้ำหนักแห้ง) สำหรับสตาร์ชข้าวดิบนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C แต่สตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์นำตัวอย่างมาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง

รีโอมิเตอร์ โดยสตาร์ชข้าวคั่ววัดที่อุณหภูมิ 60°C แต่สตาร์ชข้าวพรีเจลาติในซั้ววัดที่อุณหภูมิ 25°C โดยใช้หัววัดชนิด coaxial cylinder (Z41) ทำการวัดค่าความเค้นเฉือนที่อัตราการเฉือนในช่วง 10-1000 s⁻¹ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือนกับอัตราการเฉือนในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ (mathematical model) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (consistency coefficient) และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index) (ดัดแปลงจาก Doublier *et al.*, 1986)

4. การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติในซั้วที่ผลิตได้กับสตาร์ชพรีเจลาติในซั้วทางการค้า

ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงหน้าที่ (ข้อ 3.2.2) ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติในซั้วซึ่งผลิตที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ (ข้อ 3.1) กับสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติในซั้วทางการค้า

5. การประยุกต์ใช้สตาร์ชข้าวพรีเจลาติในซั้วในการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ

5.1 การผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ

นำไข่แดง นมข้นหวาน เกลือ และมันฝรั่งปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนส์เซอร์ที่ความเร็วรอบ 1600 rpm ค่อยๆเติมสตาร์ชพรีเจลาติในซั้วสลับกับของเหลวซึ่งประกอบด้วยน้ำและน้ำส้มสายชู โดยใช้เวลารับผสมทั้งหมด 3 นาที จากนั้นเติมน้ำมันถั่วเหลืองอย่างช้าๆ พร้อมทั้งปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเป็น 1800 rpm นาน 5 นาที (ดัดแปลงจาก Worrasinchai *et al.*, 2006) สำหรับปริมาณสตาร์ชพรีเจลาติในซั้วที่เติมทดแทนน้ำมันถั่วเหลืองในน้ำสลัดมี 4 สูตร ดัง Table 1 ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำสลัดสูตรควบคุมซึ่งมีปริมาณน้ำมัน 42% (โดยน้ำหนักรวมน้ำสลัด)

Table 1. Composition of control and low fat salad dressing in each sample.

Composition (%wb)	Control	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Soy bean oil	42.0	37.0	32.0	22.0	12.0
PGS	0.0	2.0	4.0	8.0	12.0
Water	0.0	19.0	22.0	28.0	34.0
Yolk	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
Vinegar	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Sweetened condensed milk	41.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Salt	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Mustard	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

5.2 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำสลัด

5.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัด

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผลิตจากข้อ 5.1 โดยวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ความชื้น เถ้า (AOAC, 2000) ไขมัน (Bligh and Dryer, 1959) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (คำนวณจากการหักลบปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และเถ้า จาก 100%) คำนวณปริมาณพลังงานจากสมการที่ 9

$$\text{ปริมาณพลังงาน (kcal)} = 4 (\% \text{โปรตีน}) + 9 (\% \text{ไขมัน}) + 4 (\% \text{คาร์โบไฮเดรต}) \quad (9)$$

5.2.2 ลักษณะและขนาดอนุภาคของเม็ดไขมัน

ศึกษาลักษณะของเม็ดไขมันด้วยกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 400 เท่า (Chun *et al.*, 1997) และศึกษาขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันในน้ำสลัด โดยนำน้ำสลัด 0.04 g ละลายใน 1% sodium dodecyl sulfate (SDS) 150 ml คนด้วยแท่งแก้วให้น้ำสลัดกระจายตัวอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นคิส์เฟิร์สเฟส (disperse phases) ค่า refractive index เท่ากับ 1.460 (Worrasinchai *et al.*, 2006)

5.2.3 พฤติกรรมการไหล (flow behavior)

ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผลิตจากข้อ 5.1 ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ซึ่งต่อกับหัววัดชนิด cone and plate (CP 4°) โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 25°C ที่อัตราการเฉือนในช่วง 1-100 s⁻¹ ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและความเค้นเฉือนกับอัตราการเฉือน ในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (consistency coefficient) และค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (flow behavior index)

5.2.4 สมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic properties)

ศึกษาสมบัติวิสโคอีลาสติกของน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผลิตจากข้อ 5.1 ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ซึ่งต่อกับหัววัดชนิด cone and plate (CP 4°) โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 25°C ในช่วงความถี่ 1-100 Hz และค่าความเครียด 1% โดยทำการวัดค่า storage modulus (G')

5.2.5 ความคงตัวของน้ำสลัด (stability)

ศึกษาความคงตัวของน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผลิตจากข้อ 5.1 โดยนำน้ำสลัดใส่ในหลอดเซนติฟิวส์ หมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 rpm นาน 30 นาที วัดความสูงของชั้นอิมัลชันหลังหมุนเหวี่ยงเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับความสูงของน้ำสลัดเริ่มต้นก่อนหมุนเหวี่ยง (ดัดแปลงจาก Chun *et al.*, 1997)

6. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) สำหรับการศึกษารผลของอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง และการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงหน้าที่ของสสารข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้จากสสารข้าวพรีเจลาติไนซ์ทางการค้า และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้ Paired-Sample T Test สำหรับการศึกษารผลของระดับความเร็วรอบและระดับความเข้มข้นสสาร

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. สมบัติของสตาร์ชข้าวดิบ

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียงแสดงดัง Table 2 โดยสตาร์ชข้าวทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 0.27% ถึง 0.64% (โดยน้ำหนักแห้ง) ไขมัน 0.51% ถึง 0.58% (โดยน้ำหนักแห้ง) และเถ้า 0.20% ถึง 0.26% (โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งแสดงว่าสตาร์ชทั้ง 3 ชนิดมีความบริสุทธิ์สูง เมื่อจำแนกกลุ่มของสตาร์ชข้าวตามปริมาณอะมิโลสพบว่าสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม คือ สตาร์ชข้าวเหนียวจัดอยู่ในกลุ่มสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (อะมิโลส 1.41%) สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 จัดอยู่ในกลุ่มสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (อะมิโลส 14.96%) และสตาร์ชข้าวเหนียงจัดอยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (อะมิโลส 20.16%) สอดคล้องกับการจำแนกกลุ่มของสตาร์ชข้าวไทย (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตและคณะ, 2546) ซึ่งปริมาณอะมิโลสที่แตกต่างกันนี้จะมีอิทธิพลต่อสมบัติต่างๆของสตาร์ชข้าว ได้แก่ กำลังการพองตัวและการละลาย การเกิดเจลลาติไนเซชัน (Varavinit *et al.*, 2003) สมบัติทางความร้อน สมบัติทางรีโอโลยีและสมบัติการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Noosuk *et al.*, 2003; Noosuk *et al.*, 2005)

Table 2. Chemical compositions of native starches from Glutinous, Jasmine and Chiang rice.

Chemical composition	Starch		
	Glutinous	Jasmine	Chiang
Protein (%db)	0.27±0.00	0.37±0.00	0.64±0.01
Fat (%db)	0.51±0.02	0.52±0.02	0.58±0.01
Ash (%db)	0.20±0.02	0.18±0.01	0.26±0.02
Moisture (%db)	11.37±0.05	8.31±0.53	13.88±0.04
Amylose (%db)	1.41±0.24	14.96±0.70	20.16±0.07

Note: Each value is mean of triplicate ± SD.

1.2 สมบัติทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าว

1.2.1 ลักษณะรูปร่างและขนาด (granule shape and size) ของเม็ดสตาร์ชข้าว

ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเจียงเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่าลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชข้าวทั้งสามชนิดมีลักษณะไม่แตกต่างกัน คือ มีลักษณะหลายเหลี่ยม ผิวเรียบ (Figure 5) และจากการตรวจสอบขนาดของเม็ดสตาร์ชข้าวทั้งสามชนิด พบว่ามีขนาดเม็ดสตาร์ชเฉลี่ยเท่ากับ 5.21, 4.68 และ 5.65 μm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเม็ดสตาร์ชข้าวทั่วไป (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตและคณะ, 2546 และ Noosuk *et al.*, 2003)

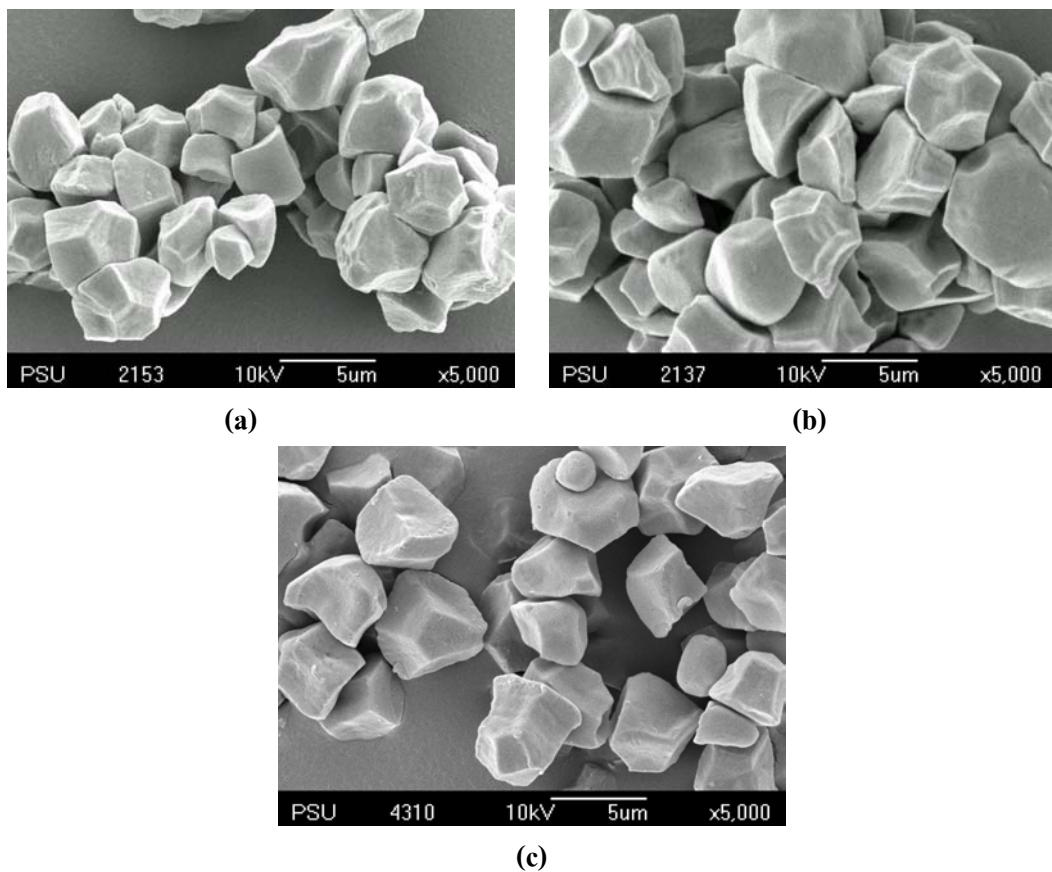


Figure 5. SEM micrographs (x5000) of native starches from Glutinous (a), Jasmine (b) and Chiang (c) rice.

1.2.2 โครงสร้างผลึก (crystallinity)

การตรวจสอบรูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียงก่อนการตัดแปรด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) พบว่า สตาร์ชข้าวทุกชนิดมีรูปแบบโครงสร้างผลึกที่มีพีคเด่นชัดที่มุม (2θ) เท่ากับ 15.2, 17.0, 17.9 และ $21.2^\circ(2\theta)$ (Figure 6) ซึ่งเป็นรูปแบบของโครงสร้างผลึกแบบ A (Zobel *et al.*, 1988) โดยการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ (double helices) ในบริเวณผลึกจะมีความแน่นหนา เมื่อพิจารณาค่าความเป็นผลึก โดยเฉลี่ยของสตาร์ชข้าวทั้งสามชนิดซึ่งมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน พบว่าความเป็นผลึกของ สตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียงเท่ากับ 33.54% 28.45% และ 29.93% ตามลำดับ โดยพบว่าค่าความเป็นผลึกของสตาร์ชข้าวเหนียวสูงกว่าสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียง เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลเพคตินสูง ซึ่งอะมิโลเพคติน เป็นสายโมเลกุลหลักที่จัดเรียงตัวเป็นเกลียวคู่ในบริเวณผลึกของเม็ดสตาร์ช (French, 1984) นอกจากนี้ Gunaratne และ Hoover (2002) ยังได้อธิบายว่าค่าความเป็นผลึกในสตาร์ชแต่ละชนิดยัง ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ (1) ขนาดของผลึก (2) การจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ในบริเวณผลึก (3) ค่าเฉลี่ยของความยาวสายของอะมิโลเพคติน (4) สัดส่วนของอะมิโลเพคตินสายสั้น และจากศึกษาลักษณะ โครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชข้าวทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง Fourier Transfer Spectrometer (FTIR) พบ พีคที่ 1047 cm^{-1} (Figure 7) แสดงถึงสายโมเลกุลที่มีการจัดเรียงแบบเกลียวคู่ (short-range molecular order) ซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นผลึกภายในโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช และพบพีคที่ 1022 cm^{-1} ซึ่ง แสดงถึงโมเลกุลที่มีการจัดเรียงตัวแบบอสัณฐาน (amorphous) (van Soest *et al.*, 1995) จาก การศึกษาสัดส่วนของโมเลกุลที่มีการจัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ต่อส่วนอสัณฐาน (RSA) โดยคำนวณ จากสัดส่วนค่าการดูดกลืนแสงของสตาร์ชที่พีค 1047 cm^{-1} ต่อ 1022 cm^{-1} พบว่าค่า RSA ของสตาร์ช ข้าวเหนียว (0.74) มีค่าสูงกว่าของสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 (0.70) และสตาร์ชข้าวเหนียง (0.69) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอะมิโลเพคตินของสตาร์ชข้าวแต่ละชนิด

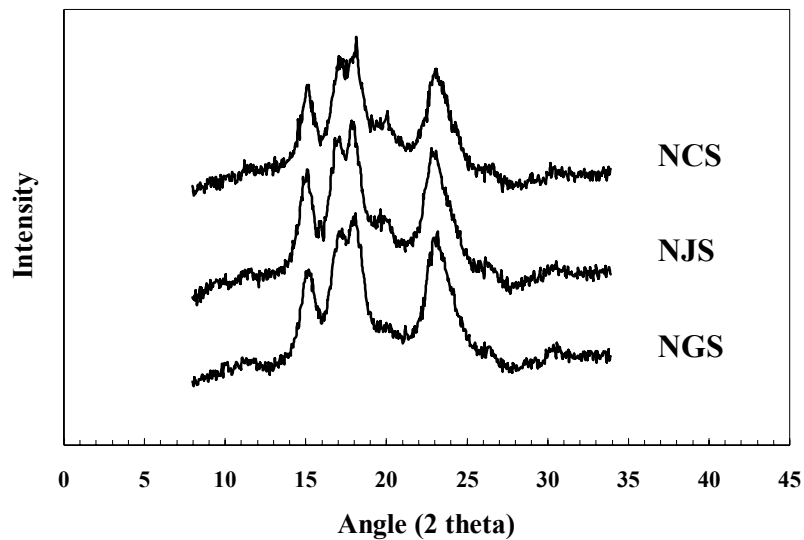


Figure 6. Crystallinity pattern of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.

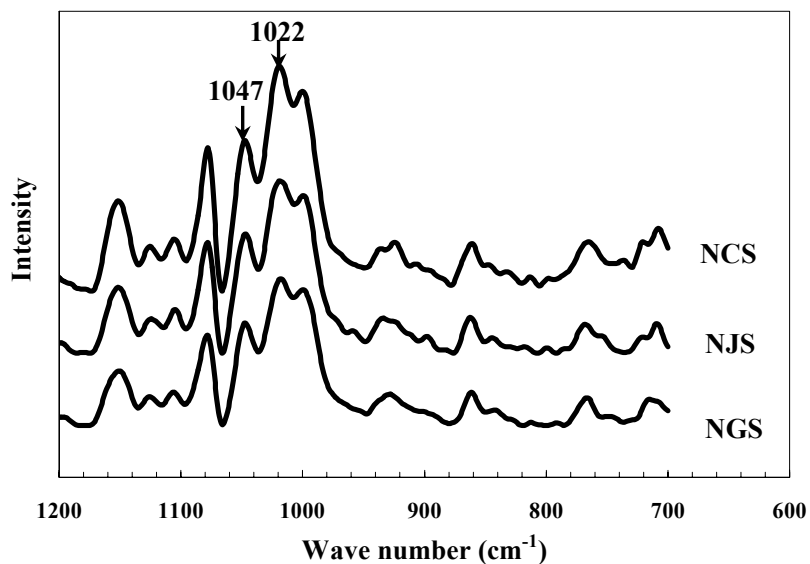


Figure 7. FTIR spectra of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice. The arrow indicates peak at 1022 and 1047 cm⁻¹.

1.3 สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าว

1.3.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลาย (water absorption and water solubility indices)

ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า สตาร์ชข้าวเหนียวมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียงซึ่งเท่ากับ 2.47 2.12 และ 1.95 ตามลำดับ (Figure 8) เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสต่ำ จึงมีความแข็งแรงของโครงสร้างเม็ดสตาร์ชน้อย ทำให้สามารถดูดซับน้ำและพองตัวที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสที่สูงกว่า ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2534) โดยพบว่าสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่าการดูดซับน้ำ (2.17) มากกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า (2.04) Hoover (2001) รายงานว่าปริมาณอะมิโลสในโครงสร้างเม็ดสตาร์ชช่วยให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้นและมีผลให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชลดลง จากการศึกษาความสามารถในการละลายพบว่าสตาร์ชข้าวเหนียงมีค่าสูงกว่า สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียว ซึ่งเท่ากับ 1.75 0.81 และ 0.36 ตามลำดับ (Figure 8) ทั้งนี้เนื่องจาก สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสที่สูงกว่ามีโอกาสที่สายโมเลกุลของอะมิโลสสามารถหลุดออก (amylose leaching) มาอยู่ในสารละลายได้มากกว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่า (Noosuk *et al.*, 2005)

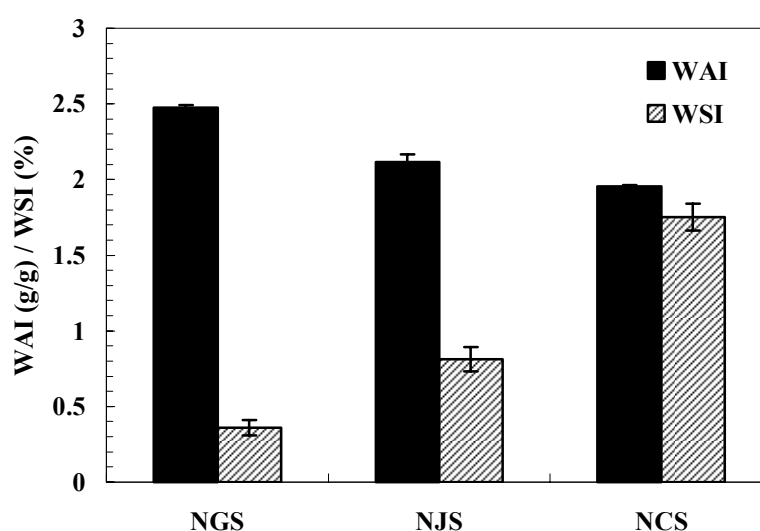


Figure 8. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.

1.3.2 สมบัติการเกิดสตาร์ชเพสต์ (pasting properties)

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญของสตาร์ช ซึ่งความหนืดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสตาร์ชในสถานะที่มีน้ำและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการประเมินและติดตามสมบัติทางความหนืดในขณะที่สารละลายสตาร์ชได้รับความร้อน รวมทั้งความคงตัวของสารละลายสตาร์ชเมื่อให้ความเย็นในช่วงของการลดอุณหภูมิ จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวทั้งสามชนิดพบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงถึงระดับการพองตัวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Figure 9) จาก Table 3 พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ของสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่าสูงสุด (77.58°C) รองลงมาคือข้าวขาวดอกมะลิ 105 (70.45°C) และข้าวเหนียว (68.65°C) ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชที่ทำให้โครงสร้างของสตาร์ชมีความแข็งแรงแตกต่างกัน (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตและคณะ, 2546) ซึ่งเมื่อโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงจำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงในการทำลายแรงของพันธะภายใน โมเลกุลของสตาร์ชและทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชแตกออก (Eliasson, 1985) เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นพบว่าความหนืดของสตาร์ชมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (peak viscosity) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนต่อไป รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่องพบว่าเม็ดสตาร์ชเกิดการแตกตัวออกและมีความหนืดลดลงโดยผลต่างของค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดเรียกว่าค่า breakdown ซึ่งพบว่าสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่า peak viscosity และค่า breakdown สูงกว่าสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียว ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสต่ำทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างน้อยกว่าประกอบกับปริมาณอะมิโลสเพกตินที่สูงกว่าซึ่งสามารถจับกับน้ำได้ดีกว่า จึงส่งผลให้เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวและแตกสลายระหว่างให้ความร้อนได้ง่ายกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เมื่อลดอุณหภูมิการให้ความร้อนลงพบว่าความหนืดของสตาร์ชมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งซึ่งเป็นผลมาจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ช ซึ่งผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และความหนืดต่ำสุดเรียกว่าความสามารถในการคืนตัว (setback) ซึ่งพบว่าสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่า setback สูงสุด (Table 2) เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสสูง การลดอุณหภูมิลงทำให้สายอะมิโลสซึ่งเป็น โพลีเมอร์เชิงเส้นสามารถกลับมาจัดเรียงตัวใหม่หรือเกิดรีโทรเกรเดชัน ได้สูงกว่าสตาร์ชข้าวชนิดอื่น จากผลการศึกษาที่สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Varavinit และคณะ (2003) และ Noosuk และคณะ (2003) ซึ่งพบว่าสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชเพสต์สัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลส โดยเมื่อปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าวมี

ค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า peak viscosity และค่า breakdown มีค่าลดลง แต่ทำให้ค่า pasting temperature และค่า setback มีค่าเพิ่มขึ้น

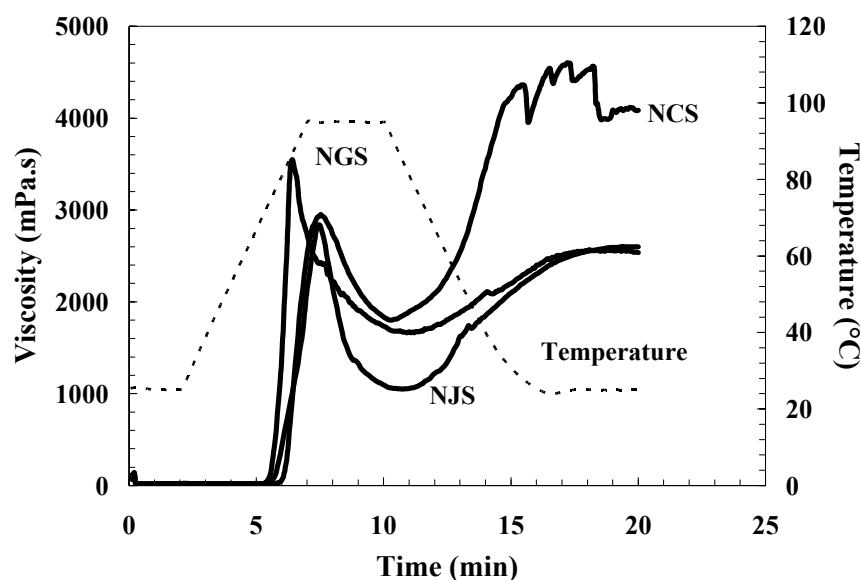


Figure 9. Pasting profile of native starch pastes from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.

Table 3. Viscosity parameters from Rapid Visco Analyzer of native starch pastes from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice.

Starch	Pasting Temperature (°C)	Peak Viscosity (mPa.s)	Final Viscosity (mPa.s)	Breakdown (mPa.s)	Setback (mPa.s)
NGS	68.65 ^c ±0.08	3528.33 ^a ±30.75	2530.67 ^b ±3.84	1886.33 ^a ±15.81	888.67 ^c ±16.76
NJS	70.45 ^b ±0.09	2812.33 ^b ±13.77	2623.67 ^b ±20.22	1765.00 ^b ±11.53	1576.33 ^b ±18.10
NCS	77.58 ^a ±0.23	2924.67 ^b ±53.58	4299.67 ^a ±114.17	1109.33 ^c ±56.79	2484.33 ^a ±108.44

Note: Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each column denote significant differences ($p < 0.05$).

1.3.3 พฤติกรรมการไหล (flow behavior)

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียวโดยการเตรียมสตาร์ชเพสท์ความเข้มข้น 4 % (โดยน้ำหนักแห้ง) ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปวัดพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิ 60°C ในช่วงอัตราการเฉือนเท่ากับ 0-300 s⁻¹ จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือนของสตาร์ชข้าวทั้งสามชนิด พบว่าเป็นไปตามกฎสมการยกกำลัง (power law) ดังสมการที่ 10 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ($R^2 > 0.99$, $p < 0.05$)

$$\sigma = k \dot{\gamma}^n \quad (10)$$

เมื่อ σ คือความเค้นเฉือน (Pa), $\dot{\gamma}$ คืออัตราการเฉือน (s⁻¹), k คือค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (consistency coefficient) (Pa.sⁿ) และ n คือดัชนีแสดงพฤติกรรมการไหล (flow behavior index)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความหนืดปรากฏและความเค้นเฉือนของสตาร์ชข้าวทั้ง 3 ชนิดพบว่าความหนืดปรากฏลดลงเมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้น (Figure 10) และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) ของสตาร์ชข้าวทั้งสามชนิดพบว่าสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่าเท่ากับ 0.27 0.39 และ 0.46 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thinning (pseudoplastic) (Doublier, 1981; Noel *et al.*, 1993) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ทางความหนืด (k) พบว่าค่า k ของสตาร์ชข้าวเหนียว (10.77 Pa.sⁿ) สูงกว่าสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 (3.2 Pa.sⁿ) และสตาร์ชข้าวเหนียว (1.48 Pa.sⁿ) ตามลำดับ เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวเป็นสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำส่งผลให้โครงสร้างมีความแข็งแรงน้อย จึงทำให้เม็ดสตาร์ชข้าวเหนียวสามารถฟองตัวได้ดี และสามารถเกิดการสัมผัสกันระหว่างเม็ดสตาร์ช (granule-granule contact) นอกจากนี้ค่าความหนืดปรากฏที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากสายโมเลกุลของสตาร์ชที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ชและเกิดเกาะเกี่ยวกันระหว่างสายโมเลกุล (amylose/amylopectin interaction) หรือระหว่างเม็ดสตาร์ชที่ฟองตัวกับสายโมเลกุลของสตาร์ช (granule-amylose/amylopectin interaction) (Eliasson, 1986) จึงส่งผลให้ค่าความหนืดปรากฏของสตาร์ชข้าวเหนียวสูงกว่าสตาร์ชข้าวอีกสองชนิด นอกจากนี้เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนกับอัตราการเฉือนในช่วงที่มีการเพิ่มและลดอัตราการเฉือน พบว่าสตาร์ชข้าวทั้งสองชนิด คือ สตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 เกิดฮิสเทอรีซิสลูป (hysteresis loop) โดยพบว่าเมื่อลดอัตราการเฉือนลงมาส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนมีค่าลดลงต่ำกว่าจากช่วงที่เพิ่มอัตราการเฉือน

(Figure 11) ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมการไหลที่ขึ้นกับเวลาชนิด thixotropic โดยเมื่อระยะเวลาในการเฉือนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดปรากฏของสตาร์ชลดลง (Figure 10) และจากการศึกษาพบว่า hysteresis loop ของสตาร์ชข้าวเหนียวเกิดได้มากกว่าของสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าโครงสร้างของสตาร์ชเพสท์จากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำสามารถถูกทำลายด้วยการเพิ่มอัตราการเฉือนและไม่สามารถคืนตัวได้เมื่อลดอัตราการเฉือนลง

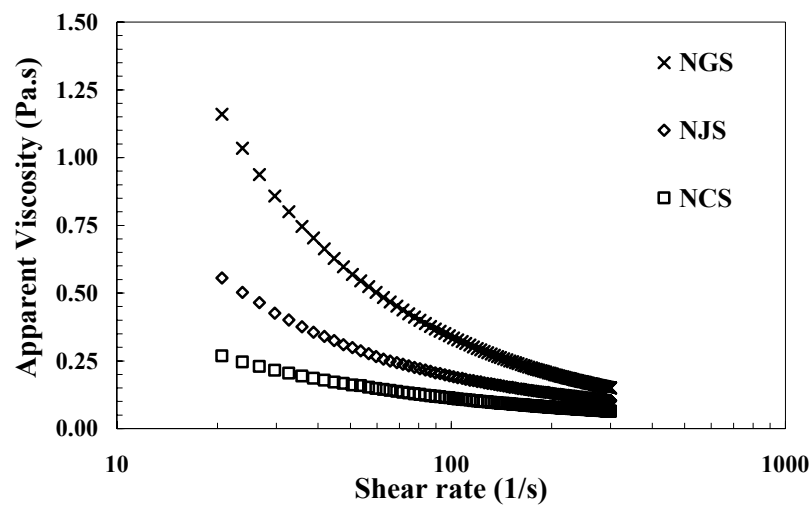


Figure 10. Relationship of apparent viscosity and shear rate of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice at 60°C.

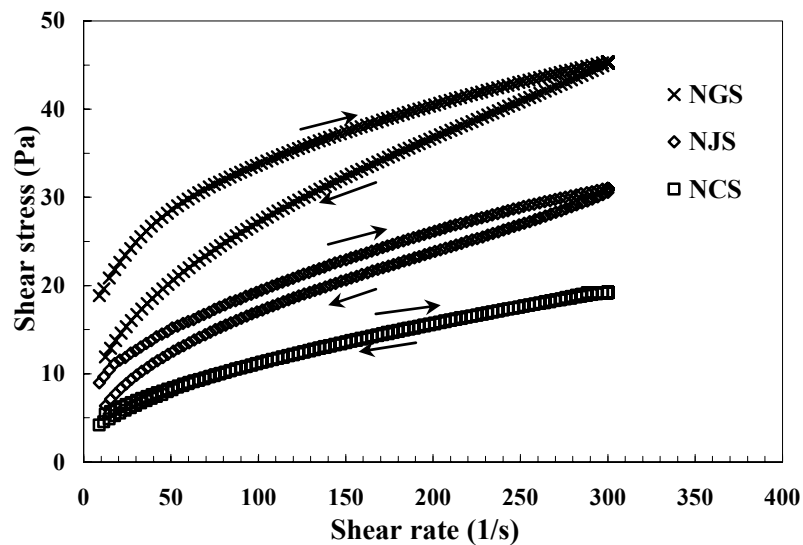


Figure 11. Relationship of shear stress and shear rate of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice at 60°C.

2. ผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิตต่อโครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์

2.1 ลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์

2.1.1 ผลของปริมาณอะมิโลสต่อลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์

ลักษณะรูปร่างของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเลี้ยงพรีเจลาตีไนซ์เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM พบว่าสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์มีการแตกหักเป็นเศษชิ้นส่วนของเม็ดสตาร์ช (flakes) และฟองตัวเพิ่มขนาดขึ้นเมื่อเทียบกับสตาร์ชดิบ เนื่องจากเม็ดสตาร์ชถูกความร้อนทำลายโครงสร้างเป็นโพรง เกิดการแตกหัก Yadav และคณะ (2006) พบว่าสายอะมิโลสหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชในระหว่างการให้ความร้อนซึ่งอาจเป็นผลจากการเกิดเป็นโพรงและการแตกออกของเม็ดสตาร์ช จากการทดลอง พบว่าสตาร์ชข้าวเลี้ยงพรีเจลาตีไนซ์ (PCS) (Figure 12c) มีเศษชิ้นส่วนของเม็ดสตาร์ชที่ขนาดใหญ่กว่าสตาร์ชข้าวเหนียวพรีเจลาตีไนซ์ (PGS) และสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 พรีเจลาตีไนซ์ (PJS) (Figure 12a และ 12b) เนื่องจากสตาร์ชข้าวเลี้ยงมีปริมาณอะมิโลสสูง โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงกว่าสตาร์ชข้าวทั้งสองชนิด จึงสามารถถูกทำลายด้วยความร้อนระหว่างการพรีเจลาตีไนซ์ได้ยากกว่า เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างผลึกด้วย X-ray diffractometer (Figure 13) พบว่า ลักษณะโครงสร้างของ PGS และ PJS ที่ทุกสภาวะการผลิตมีลักษณะแบบอสัณฐาน (amorphous) ในขณะที่ PCS ยังคงปรากฏโครงสร้างผลึกแบบ V (V-type crystallinity) โดยพบพีคที่มุม $20^\circ(2\theta)$ จากการศึกษการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ short-range molecular order ของสตาร์ชพรีเจลาตีไนซ์ โดยวัดการยืดตัวของพันธะ C-C และ C-O ในช่วงความถี่ $1300-800\text{ cm}^{-1}$ (Figure 14) พบว่า PCS ยังคงปรากฏพีคขนาดเล็กที่ 1047 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึงการปรากฏลักษณะของโครงสร้างผลึก

2.1.2 ผลของสภาวะการผลิตต่อลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชข้าวพรีเจลาตีไนซ์

เมื่อทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 3 ระดับ คือ 110°C 117°C และ 123°C พบว่า ลักษณะโครงสร้างของ PGS และ PJS มีลักษณะอสัณฐาน (amorphous) โดยที่สูญเสียความเป็นผลึกตั้งแต่ระดับอุณหภูมิ 110°C ดัง Figure 15a และ 15b และลักษณะโครงสร้างไม่แตกต่างกันเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 117°C และ 123°C ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างด้วย FTIR โดยพบว่า PGS และ PJS ที่ทุกอุณหภูมิไม่พบพีคที่ 1047 cm^{-1} (Figure 16a และ 16b) เนื่องจากโครงสร้างผลึกภายในสตาร์ชถูกทำลาย นอกจากนี้พบการเพิ่มขึ้นของพีคที่ 1022 cm^{-1} สำหรับ PGS เมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน (van Soest *et al.*, 1995) สอดคล้องกับการศึกษาของ Wilson และ

คณะ (1987) และ Lizuka และคณะ (1999) ซึ่งทำการศึกษากระบวนการเจลาติไนซ์ในสตาร์ชข้าวด้วยเครื่อง FTIR พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเจลาติไนซ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้พีคที่แสดงลักษณะอสัณฐานมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษาสตาร์ชข้าวสาลีที่ผ่านการเจลาติไนซ์โดย Terazawa และคณะ (2003) พบว่าพีคที่ 1022 cm^{-1} มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับระดับการเกิดเจลาติไนซ์ เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างผลึกของ PCS พบว่าปรากฏพีคที่มุม $20^\circ(2\theta)$ ดัง Figure 15c ซึ่งเป็นพีคที่แสดงโครงสร้างผลึกแบบ V (V-type crystallinity) โดยเป็นโครงสร้างผลึกที่เกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสกับไขมัน (amylose-lipid complex) (Galliard and Bowler, 1987) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสตาร์ชข้าวเลี้ยงมีปริมาณอะมิโลสสูงจึงสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสกับไขมันในระหว่างกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ได้มากกว่าสตาร์ชข้าวชนิดอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะกราฟการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR (Figure 16c) ซึ่งยังคงพบพีคที่ 1047 cm^{-1} ในทุกระดับอุณหภูมิ ซึ่งแสดงว่า PCS ยังคงมีความเป็นผลึกบางส่วนอยู่ เมื่อศึกษาผลของความเร็วยรอบ 2 ระดับ คือ 2 rpm และ 4 rpm และผลของความเข้มข้นของสตาร์ช 2 ระดับ คือ 30% และ 35% (db) พบว่าเมื่อระดับความเร็วรอบและความเข้มข้นของสตาร์ชลดลง ลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ไม่มีความแตกต่างกันดัง Figure 17 และ 18

ค่าความหนืดอินทรีนสิก $[\eta]$ สามารถบ่งชี้ถึงขนาดของสายโมเลกุลของสตาร์ช ดังนั้นการศึกษาค่า $[\eta]$ ของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์เพื่อศึกษาระดับการแตกหักของสายโมเลกุลของสตาร์ช ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการได้รับความร้อน (Mercier, 1987) โดยการลดลงของค่า $[\eta]$ สามารถบ่งบอกถึงระดับการแตกหักของสายโมเลกุลของสตาร์ชที่เพิ่มมากขึ้น (Anastasiades *et al.*, 2002) โดยพบว่าค่า $[\eta]$ ของสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 และสตาร์ชข้าวเลี้ยงมีค่าเท่ากับ 270.697 (ml/g) 199.513 (ml/g) และ 163.777 (ml/g) ตามลำดับ ซึ่งสตาร์ชข้าวก่อนดัดแปรมีค่า $[\eta]$ สูงกว่าสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ เมื่อระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งและความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงส่งผลให้ค่า $[\eta]$ ของ PGS และ PJS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 4, 5 และ 6 แสดงว่าอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้น ระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งและความเข้มข้นของสตาร์ชที่ลดลงส่งผลให้ระดับการถูกทำลายมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำและปานกลาง ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Anastasiades และคณะ (2002) ซึ่งพบว่าเมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นและความเร็วรอบของลูกกลิ้งลดลงส่งผลให้ $[\eta]$ ของสตาร์ชข้าวโพดมีค่าลดลง และการศึกษาของ Colonna และคณะ (1984) ซึ่งศึกษาผลของความเข้มข้นของสตาร์ชต่อค่า $[\eta]$ ของผลิตภัณฑ์เอ็กทราคตจากสตาร์ชข้าวสาลี พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงส่งผลให้ค่า $[\eta]$ ลดลงสำหรับ PCS พบว่าค่า $[\eta]$ ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 123°C มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 110°C อย่าง

มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 4 และพบว่าเมื่อระดับความเร็วรอบลดลงส่งผลให้ $[\eta]$ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 5 แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความเข้มข้นของสตาร์ชมีอิทธิพลต่อค่า $[\eta]$ ของ PCS อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดัง Table 6 เนื่องจากสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงมีโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชที่แข็งแรง ดังนั้นการลดลงของปริมาณสตาร์ชจึงอาจไม่สามารถทำให้ระดับความรุนแรงของการได้รับความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น

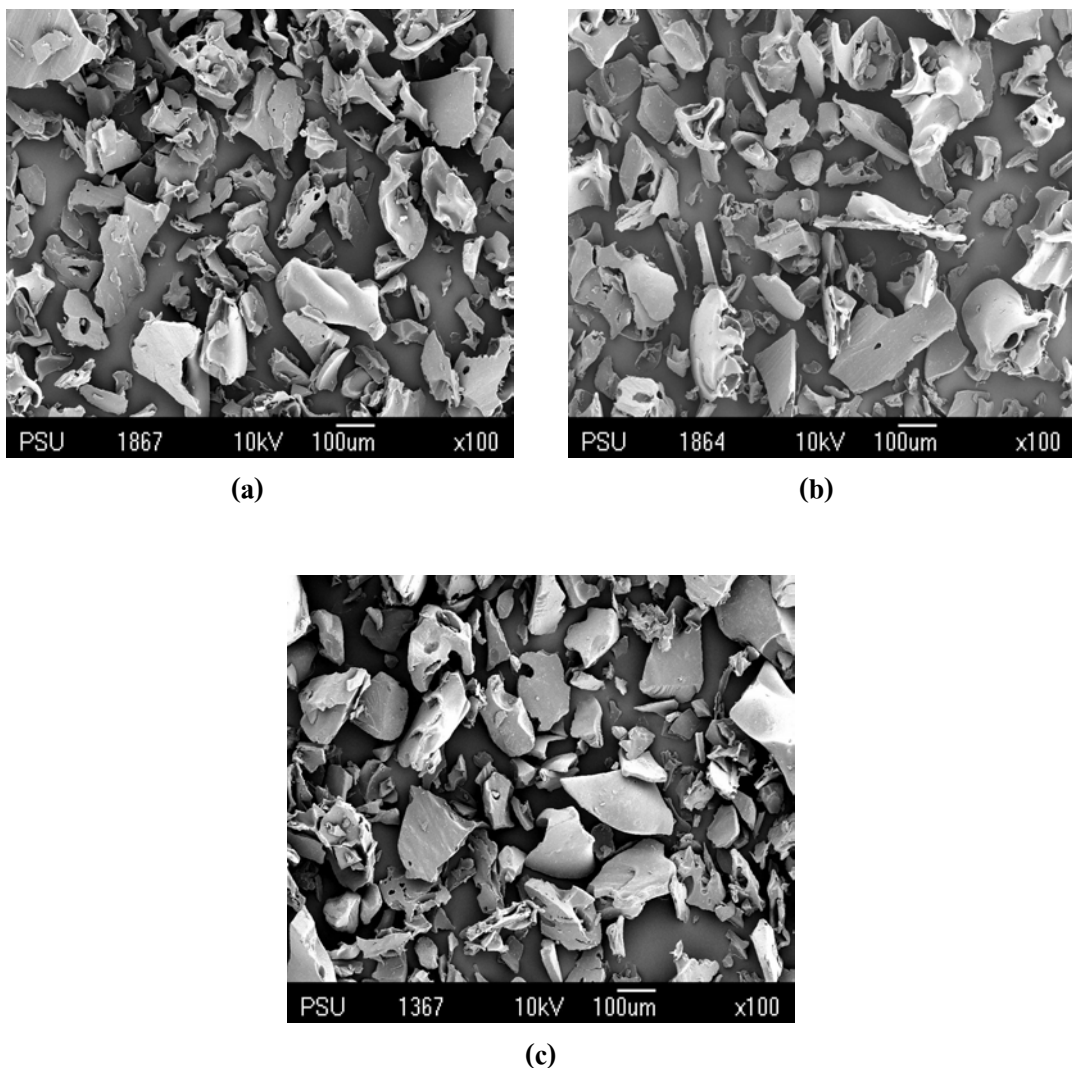


Figure 12. SEM micrographs (x100) of pregelatinized starches from Glutinous (a), Jasmine (b) and Chiang (c) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).

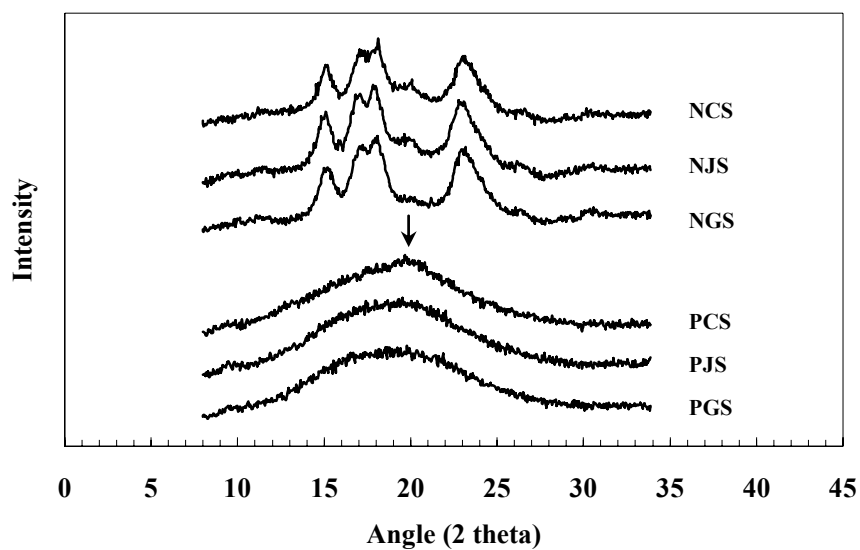


Figure 13. Crystallinity pattern of native starches from Glutinous (NGS), Jasmine (NJS) and Chiang (NCS) rice, and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C, rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at 20°(2 θ).

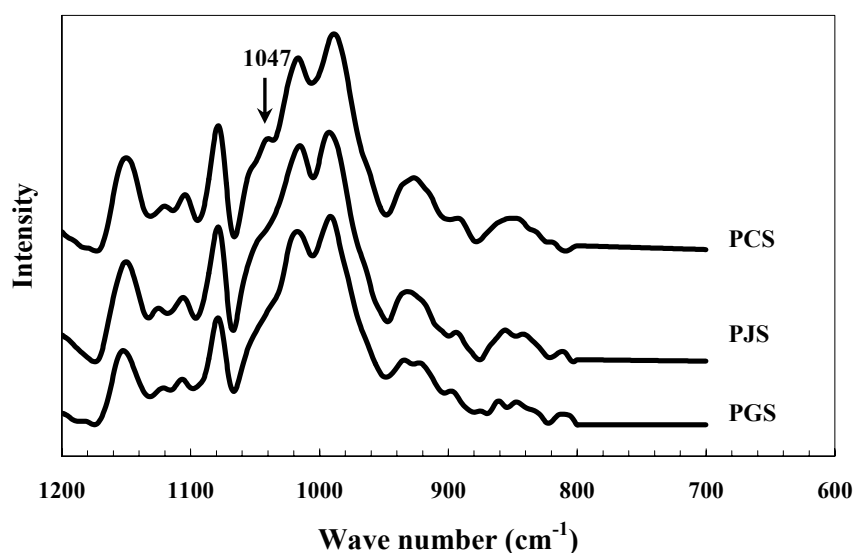


Figure 14. FTIR spectra of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C, rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at 1047cm⁻¹.

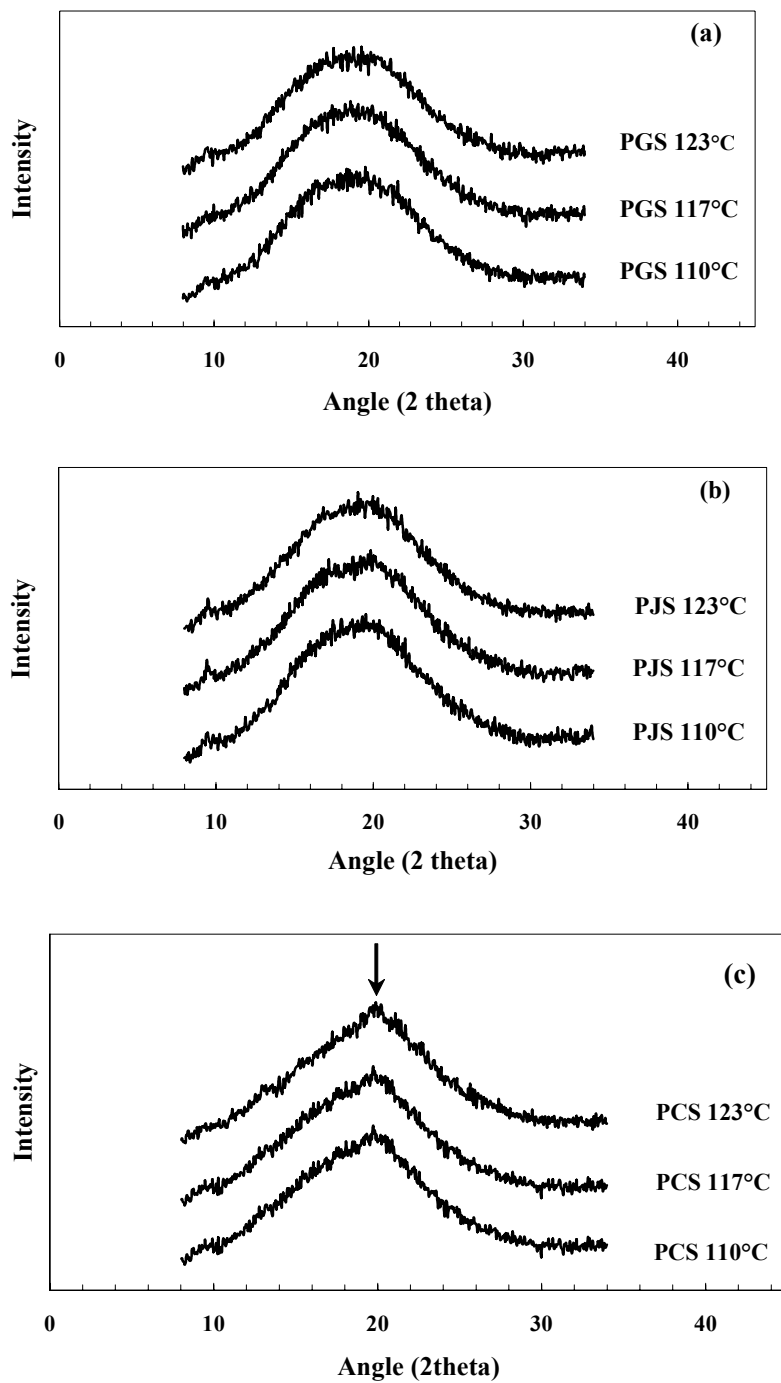


Figure 15. Crystallinity pattern of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at $20^{\circ}(2\theta)$.

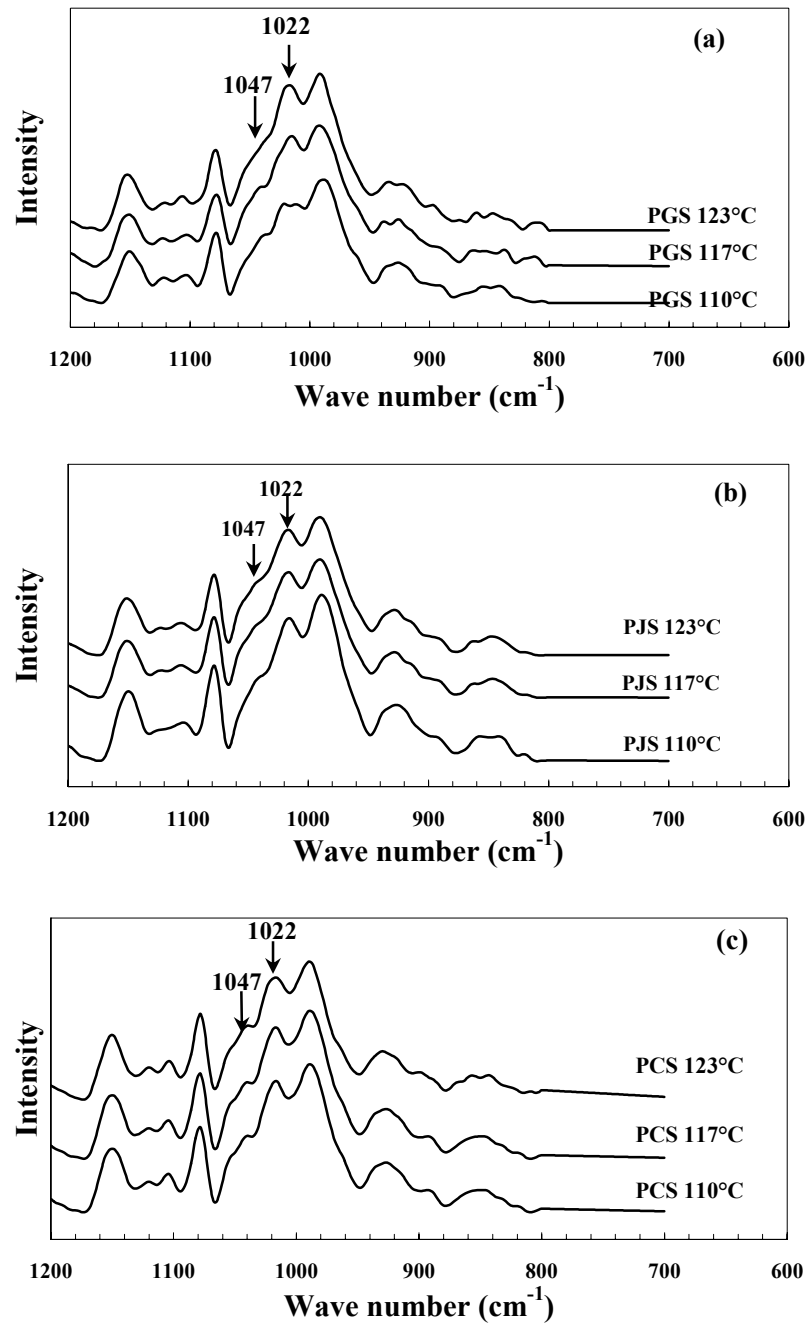


Figure 16. FTIR spectra of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm) The arrow indicates peak at 1022 and 1047 cm^{-1} .

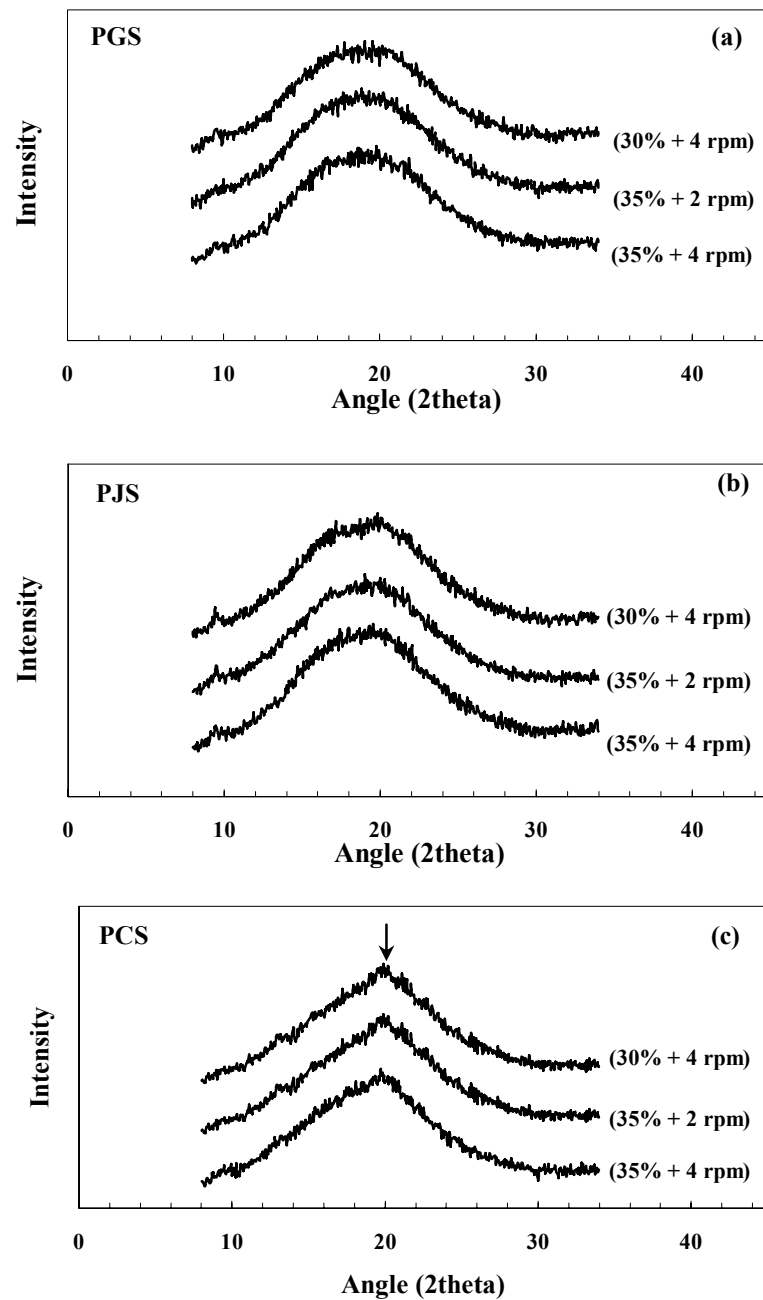


Figure 17. Crystallinity pattern of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)) The arrow indicates peak at 20°(2 θ).

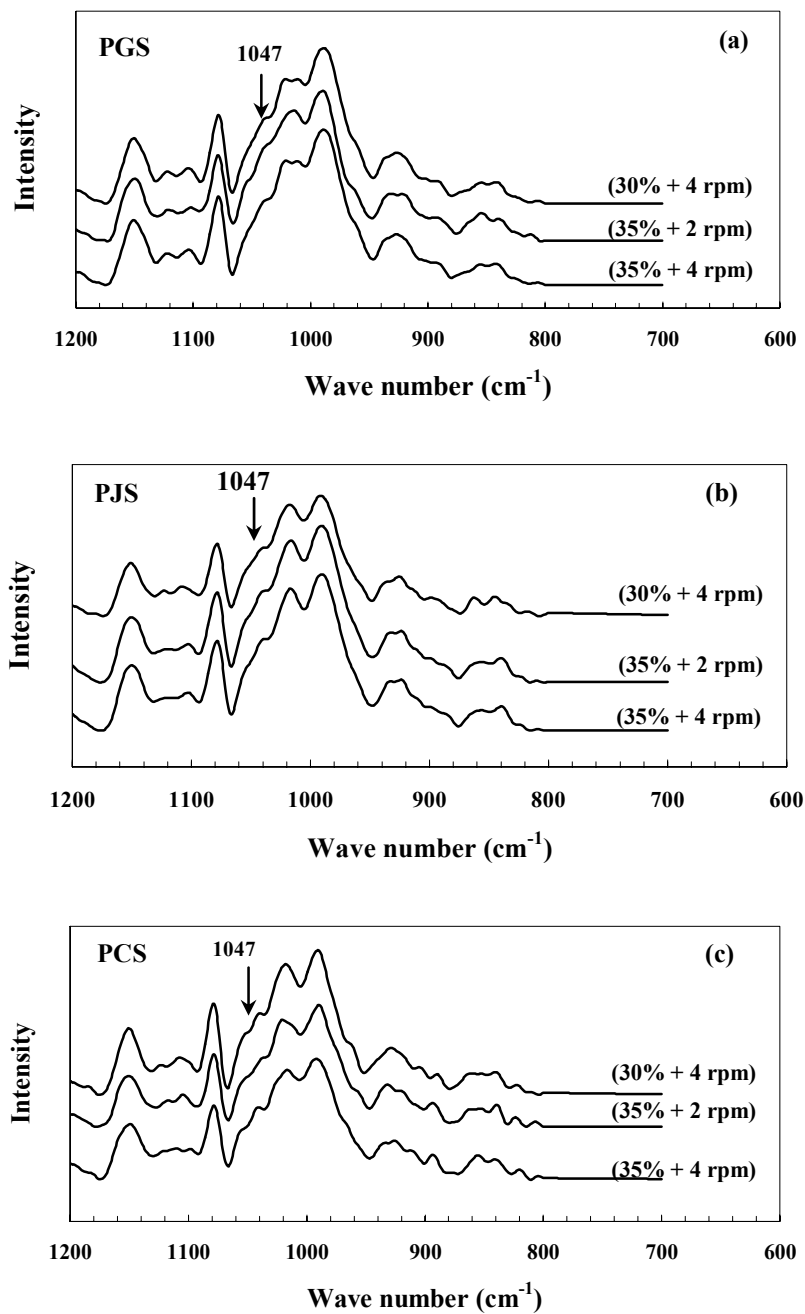


Figure 18. FTIR spectra of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice. (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)) The arrow indicates peak at 1047 cm⁻¹.

Table 4. Intrinsic viscosity $[\eta]$ of native and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).

Starch	Conditions (% / °C / rpm)	$[\eta]$ (ml/g)
PGS	35 / 110 / 4	173.573 ^a ± 1.104
	35 / 117 / 4	152.030 ^b ± 1.287
	35 / 123 / 4	145.280 ^c ± 0.973
PJS	35 / 110 / 4	153.410 ^a ± 2.783
	35 / 117 / 4	145.414 ^b ± 1.290
	35 / 123 / 4	124.678 ^c ± 1.174
PCS	35 / 110 / 4	152.273 ^a ± 3.145
	35 / 117 / 4	150.587 ^a ± 2.440
	35 / 123 / 4	148.867 ^b ± 1.222

Note: Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

Table 5. Intrinsic viscosity $[\eta]$ of native and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).

Starch	Conditions (% / °C / rpm)	$[\eta]$ (ml/g)
PGS	35 / 110 / 4	173.573 ^a ±1.104
	35 / 110 / 2	167.323 ^b ±1.090
PJS	35 / 110 / 4	153.410 ^a ±2.783
	35 / 110 / 2	134.684 ^b ±0.697
PCS	35 / 110 / 4	152.273 ^a ±3.145
	35 / 110 / 2	146.303 ^b ±2.110

Note: Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

Table 6. Intrinsic viscosity $[\eta]$ of native and pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).

Starch	Conditions (% / °C / rpm)	$[\eta]$ (ml/g)
PGS	35 / 110 / 4	173.573 ^a ±1.104
	30 / 110 / 4	160.133 ^b ±1.714
PJS	35 / 110 / 4	153.410 ^a ±2.783
	30 / 110 / 4	132.254 ^b ±0.949
PCS	35 / 110 / 4	152.273 ^a ±3.145
	30 / 110 / 4	153.746 ^a ±1.259

Note: Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

2.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลาย (water absorption and water solubility indices)

2.2.1 ผลของปริมาณอะโลสต่อค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลาย

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และการละลาย (WSI) สามารถบ่งบอกถึงระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชได้ โดยค่า WAI จะบ่งบอกถึงความสามารถในการพองตัวในน้ำเย็นของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ และค่า WSI สามารถบ่งบอกถึงปริมาณสายโมเลกุลที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ (Mitchell *et al.*, 1997) จากผลการศึกษาค่า WAI และค่า WSI พบว่าสตาร์ชข้าวดิบมีค่า WAI และ WSI ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ (Figure 19a) เนื่องจากโมเลกุลสตาร์ชข้าวดิบจะเรียงตัวกันแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นผลให้สตาร์ชดิบไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่สามารถพองตัวในน้ำเย็นได้เล็กน้อย (อรพิน, 2533) เมื่อสตาร์ชข้าวถูกตัดแปรด้วยวิธีพรีเจลาติไนซ์ ความร้อนจะทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการแตกหัก ส่งผลให้สตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์สามารถดูดซับน้ำที่อุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้นทำให้ค่า WAI สูงกว่าสตาร์ชดิบ นอกจากนี้พบว่าค่า WSI ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์สูงกว่าสตาร์ชข้าวดิบ เนื่องจากสายโมเลกุลภายในสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์สามารถหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชที่มีการแตกหักได้ดีกว่า (Namutebi, 2002) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสตาร์ชข้าวทั้งสามชนิด พบว่า PGS มีค่า WAI และ WSI สูงกว่า PJS และ PCS ตามลำดับ (Figure 19a และ 19b) เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสต่ำซึ่งทำให้อะมิโลเพกตินถูกทำลายด้วยความร้อน (Tongdang, 2001) และเม็ดสตาร์ชเกิดการแตกหักได้มากกว่าจึงมีค่า WAI และค่า WSI สูง ขณะที่สตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสสูงสุดและพบลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ V (Figure 13) จึงส่งผลให้โครงสร้างของสตาร์ชทนต่อการถูกทำลายด้วยความร้อนได้มากกว่า จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลายต่ำ

2.2.2 ผลของสภาวะการผลิตต่อค่าความสามารถในการดูดซับน้ำและการละลาย

เมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น พบว่า PGS มีค่า WAI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากโครงสร้างของสตาร์ชข้าวเหนียวมีระดับการถูกทำลายสูงขึ้น (Figure 20b) ซึ่งสอดคล้องกับค่า WSI ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Figure 20c) เนื่องจากสายโมเลกุลสามารถหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชที่เกิดการแตกหักได้มากขึ้น สอดคล้องกับรูปแบบความสัมพันธ์ของค่า WAI กับระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชที่มีค่าสูง ซึ่งปรากฏอยู่แนวเส้นโค้งทางขวามือของ Figure 20a (Mitchell *et al.*, 1997) สำหรับ PCS นั้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ทั้งค่า WAI มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบความสัมพันธ์ของค่า WAI กับระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชที่มีค่าต่ำ ซึ่งปรากฏอยู่แนวเส้นโค้งทางด้าน

ซ้ายมือของ Figure 20a เนื่องจากโครงสร้างของสตาร์ชข้าวเหนียวเกิดการแตกหักเพียงบางส่วน โดยยังคงพบโครงสร้างผลึกแบบ V สำหรับ PJS นั้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชก็มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อค่า WAI อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) สอดคล้องกับรูปแบบแสดงความสัมพันธ์ของค่า WAI กับระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชที่ปรากฏอยู่แนวเส้นโค้งตรงกลางของ Figure 20a

เมื่อความเร็วรอบของลูกกลิ้งและความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงพบว่า PGS มีค่า WAI ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่ค่า WSI มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Figure 21) โดยเป็นไปตามรูปแบบของสตาร์ชที่มีระดับการถูกทำลายสูงดังเส้นโค้งแสดงค่า WAI ด้านขวามือของ Figure 20a ซึ่งสอดคล้องกับผลการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง สำหรับ PCS พบว่าเมื่อความเร็วรอบลดลงส่งผลให้ค่า WAI มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Figure 21) เช่นเดียวกับผลการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง โดยเป็นไปตามรูปแบบของสตาร์ชที่มีระดับการถูกทำลายต่ำดังเส้นโค้งแสดงค่า WAI ด้านซ้ายมือของ Figure 20a แต่เมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงพบว่าค่า WAI ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงไม่ส่งผลต่อการเพิ่มระดับการเกิดเจลาคีโนซีได้มากเท่ากับความแตกต่างของระดับความเร็วรอบ สำหรับ PJS พบว่าการลดระดับความเร็วรอบและความเข้มข้นของสตาร์ชไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า WAI และค่า WSI อย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (Figure 21) ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง

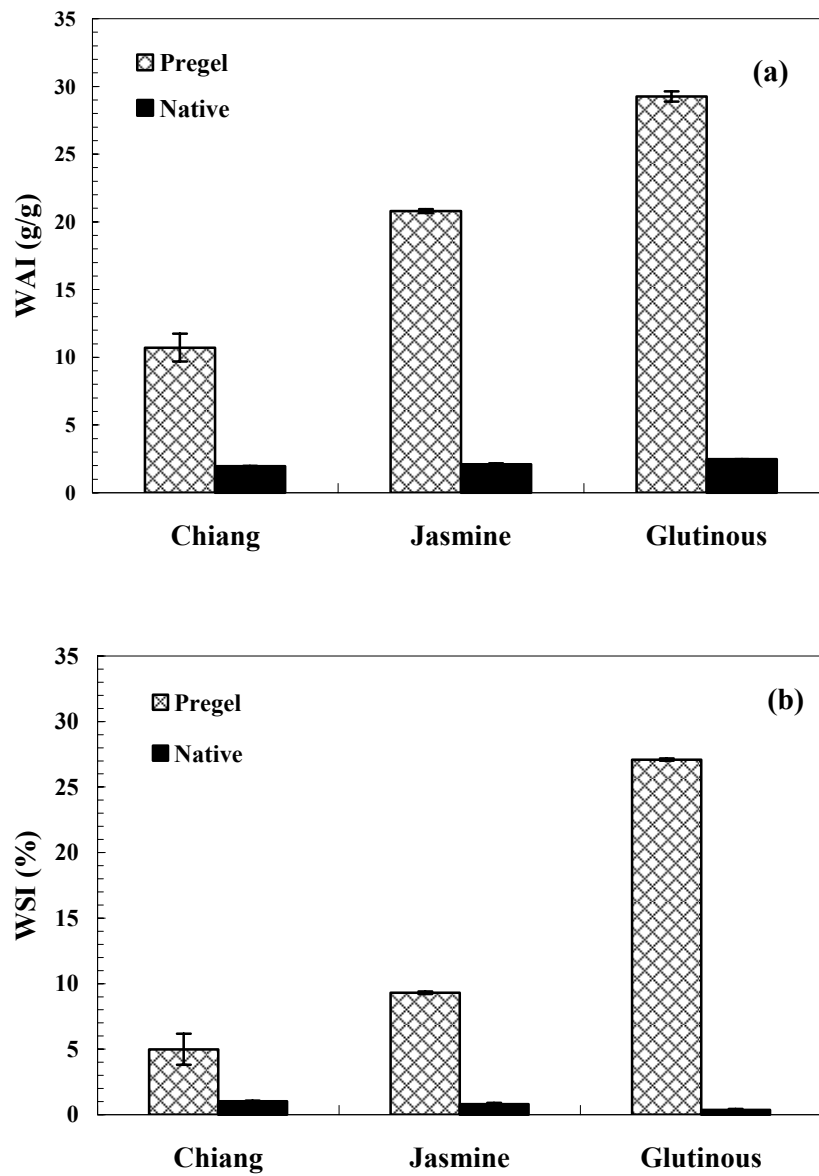


Figure 19. Water absorption index (WAI) (a) and the water solubility index (WSI) (b) of native and pregelatinized starches from Glutinous, Jasmine and Chiang rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).

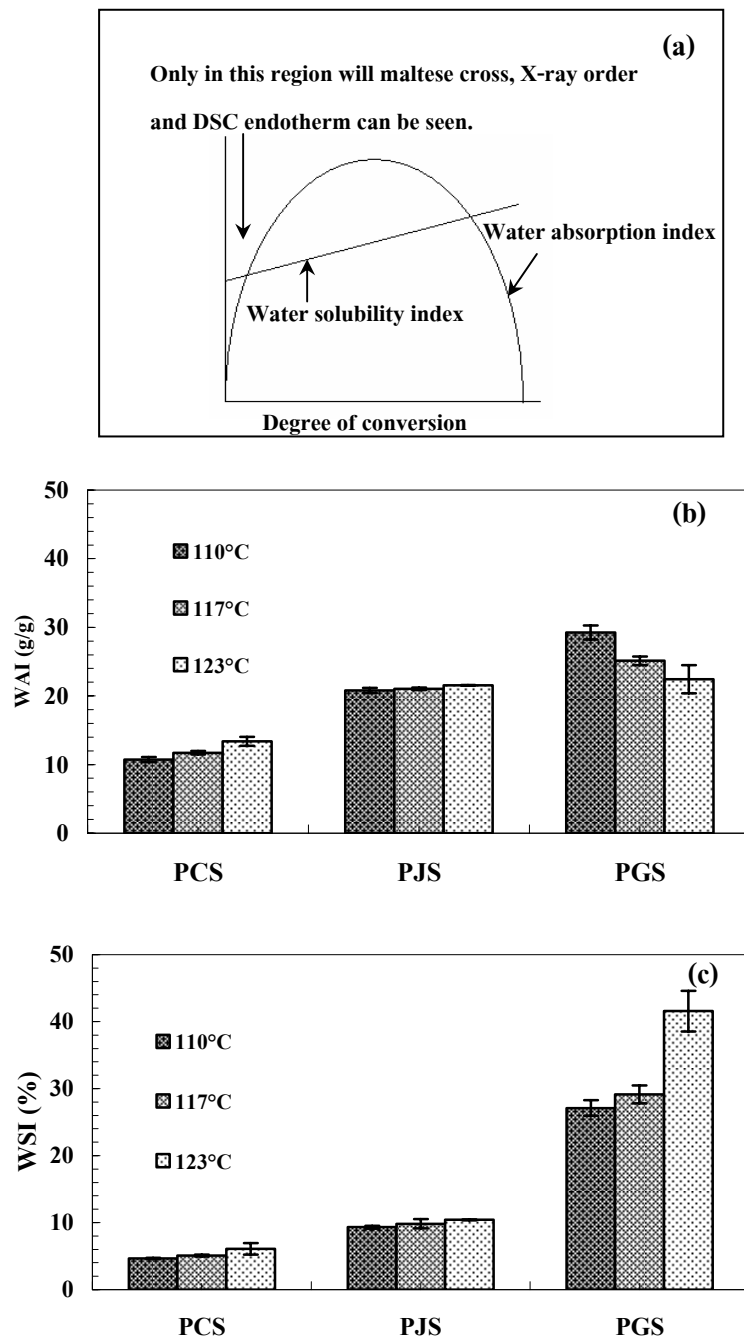


Figure 20. Typical relationships between parameters used to estimate the amount of starch conversion (modified from Mitchell *et al.*, 1997) (a), water absorption index (WAI) (b) and water solubility index (WSI) (c) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).

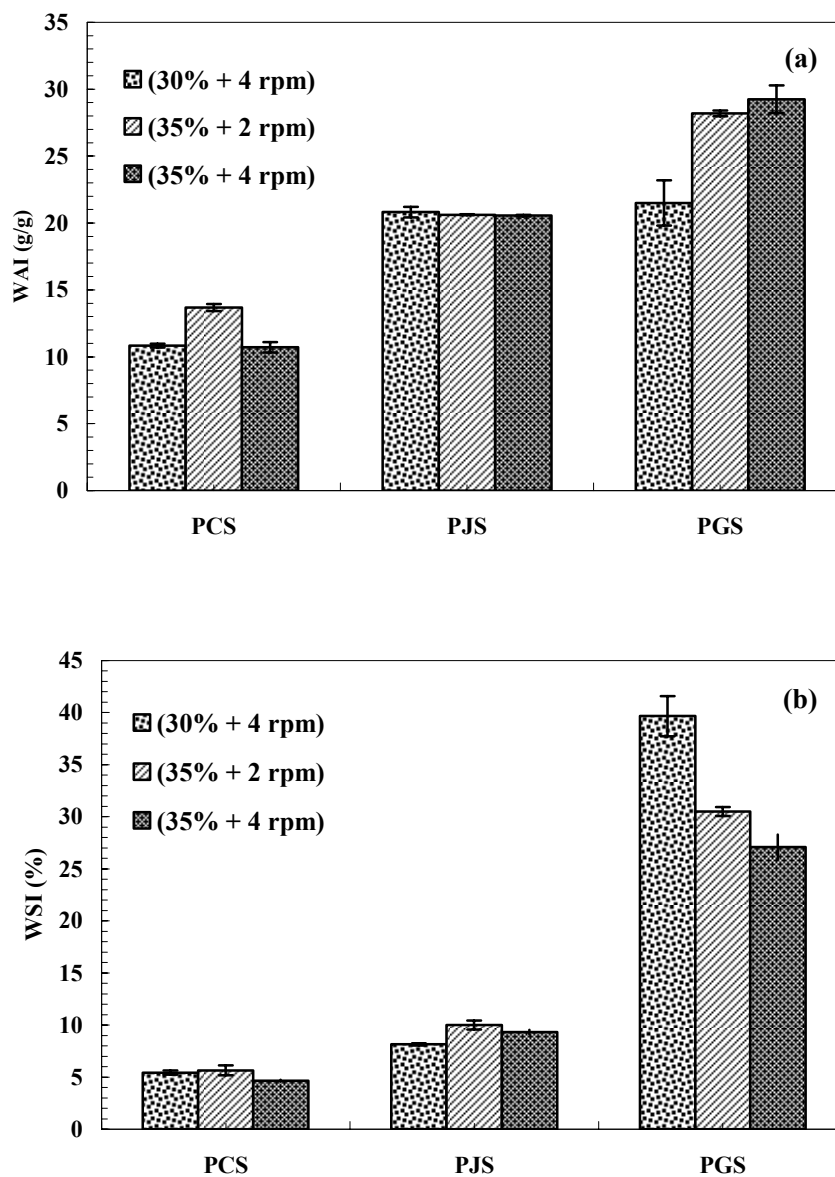


Figure 21. Water absorption index (WAI) (a) and water solubility index (WSI) (b) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 rpm (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)).

2.3 สมบัติการเกิดสตาร์ชเพสท์ (pasting viscosity)

2.3.1 ผลของปริมาณอะมิโลสต่อสมบัติการเกิดสตาร์ชเพสท์

การศึกษาสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง RVA พบว่า PGS และ PJS ปรากฏค่าความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำ (cold peak viscosity : ความหนืดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 0-2.33 นาทีแรก) ดัง Figure 22 ทั้งนี้เนื่องจาก PGS และ PJS มีลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน และมีค่า WAI ที่สูง จึงสามารถปรากฏความหนืดที่อุณหภูมิต่ำได้ เมื่อเปรียบเทียบค่า cold peak viscosity ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ทั้ง 2 ชนิด พบว่า PGS มีค่าต่ำกว่า PJS อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่าสามารถถูกทำลายด้วยความร้อนได้มากกว่าสตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 สำหรับ PCS พบว่ายังคงปรากฏค่า hot peak viscosity ดัง Figure 22 เช่นเดียวกับสตาร์ชดิบ ซึ่งบ่งชี้ถึงการมีโครงสร้างผลึกบางส่วนอยู่ในเศษชิ้นส่วนของเม็ดสตาร์ช (Whalen *et al.*, 1997) ดังนั้นจึงสามารถพองตัวและเกิดความหนืดที่อุณหภูมิต่ำได้น้อยกว่า PGS และ PJS อย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่า WAI และค่า WSI ที่มีค่าต่ำ (Figure 19)

2.3.2 ผลของสภาวะการผลิตต่อค่าสมบัติการเกิดสตาร์ชเพสท์

เมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า cold peak viscosity ของ PGS และ PJS มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Figure 23a และ 23b ในขณะที่ค่า hot peak viscosity ของ PCS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Figure 23c เนื่องจากเมื่อระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับการทำลายโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการพองตัวของเศษชิ้นส่วนของเม็ดสตาร์ชที่หลงเหลืออยู่เพื่อทำให้เกิดความหนืดที่อุณหภูมิต่ำของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาค่า WAI ดัง Figure 20b ในขณะที่สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงสามารถดูดซับน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชเพสท์ในผลิตภัณฑ์เอ็กทราคเตทจากข้าว ข้าวโพด และข้าวสาลี (Whalen *et al.*, 1997) และในแป้งมันเทศ (Namutebi, 2002) และเมื่อระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งและระดับความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงส่งผลให้ค่า cold peak viscosity ของ PGS และ PJS มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Figure 24a และ 24b สำหรับ PCS พบว่าเมื่อระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งลดลงส่งผลให้ค่า hot peak viscosity มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อระดับความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงพบว่าค่า hot peak viscosity ของ PCS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (Figure 24c)

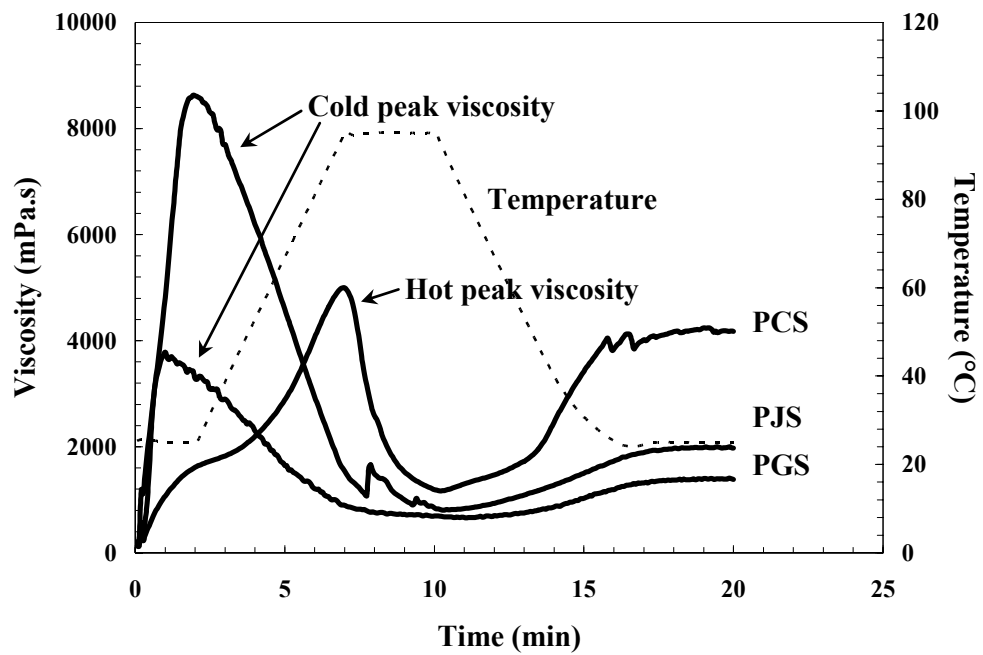


Figure 22. RVA profiles of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).

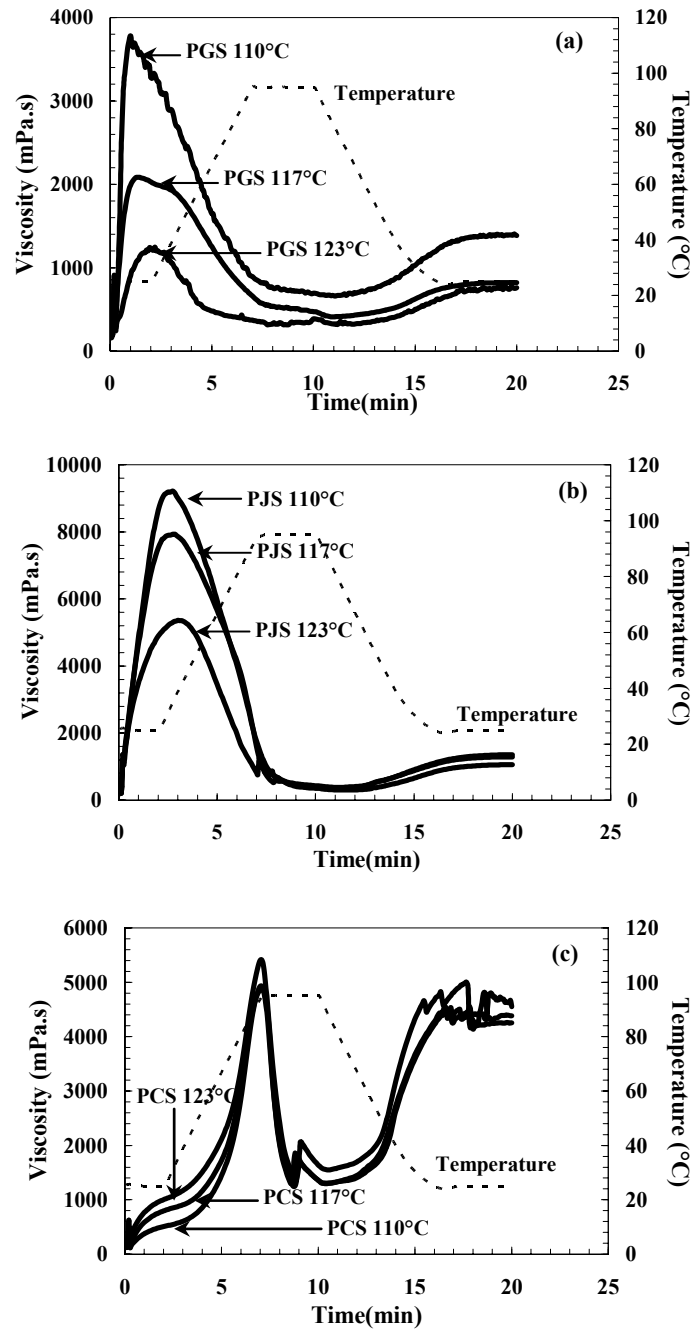


Figure 23. RVA profile of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C, 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).

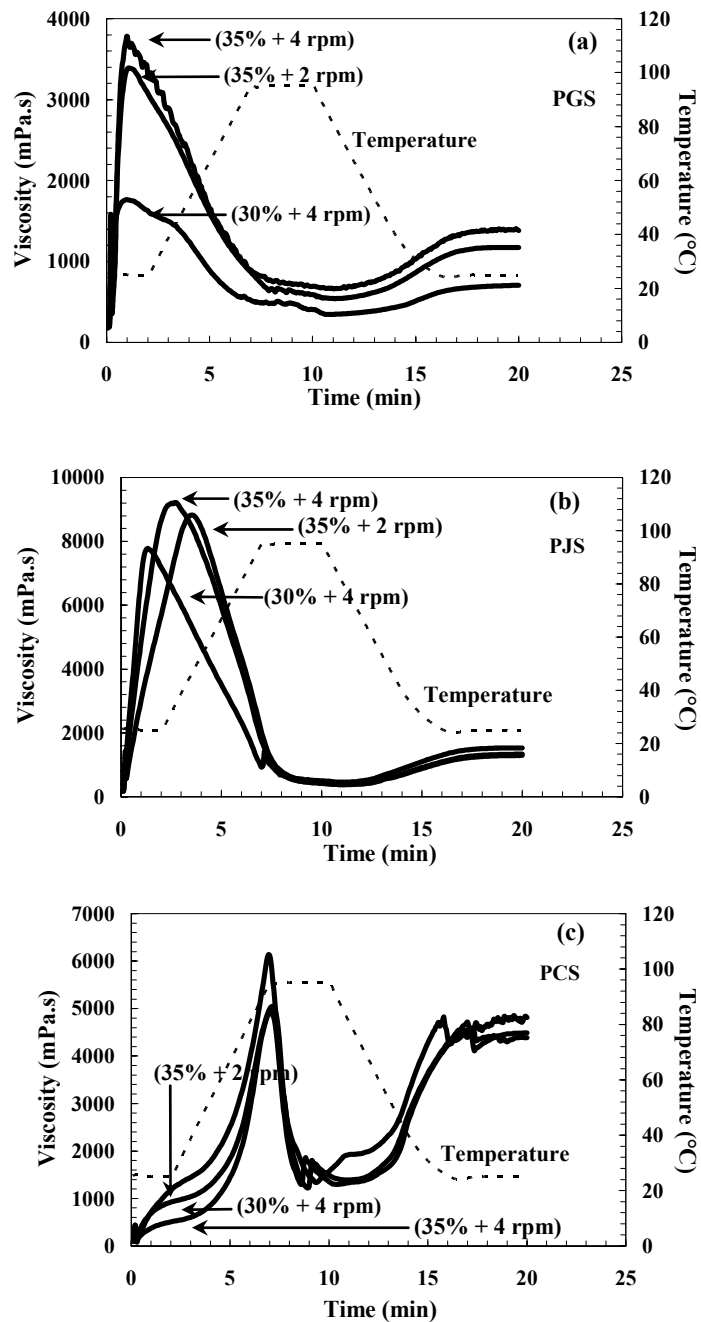


Figure 24. RVA profile of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a), Jasmine rice (PJS) (b) and Chiang (PCS) (c) rice (Drum dryer input parameters: starch drum temperature 110°C, concentration 30% (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35% (db) rotation speed 2 rpm (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)).

2.4 พฤติกรรมการไหล (flow behavior)

2.4.1 ผลของปริมาณอะมิโลสต่อพฤติกรรมการไหล

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 4% (โดยน้ำหนักแห้ง) โดยทำการวัดค่าที่อุณหภูมิ 25°C อัตราการเฉือนในช่วง 10-1000 s⁻¹ พบว่า PGS และ PJS สามารถดูดซับน้ำ พองตัว และเกิดความหนืดที่อุณหภูมิต่ำได้ มีพฤติกรรมการไหลเป็นไปตามกฎสมการยกกำลัง (power law) ดังสมการที่ 10 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูง ($R^2 > 0.99$, $p < 0.05$) และพบว่าค่าความหนืดปรากฏลดลงเมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นดัง Figure 26 และ Figure 27 นอกจากนี้พบว่าค่าดัชนีพฤติกรรมการไหล (n) ของสตาร์ชเพสต์ทั้งสองชนิดมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงการมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thinning (pseudoplastic) (Evan and Haisman, 1979; Doublier, 1981) เมื่อเปรียบเทียบความหนืดปรากฏของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ทั้งสองชนิด พบว่า PGS มีค่าสูงกว่า PJS ซึ่งแสดงว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่ามีระดับการถูกทำลายด้วยความร้อนได้มากกว่าจึงสามารถพองตัวและให้ความหนืดที่สูงกว่า สำหรับ PCS นั้นไม่พบว่าสามารถเกิดความหนืดที่อุณหภูมิ 25°C เนื่องจากโครงสร้างของ PCS มีระดับการถูกทำลายด้วยความร้อนต่ำ จึงยังคงมีโครงสร้างผลึกหลงเหลืออยู่ภายในเม็ดสตาร์ช ทำให้ไม่สามารถพองตัวและปรากฏค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่ำ

2.4.2 ผลของสถานะการผลิตต่อพฤติกรรมการไหล

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งต่อพฤติกรรมการไหลของ PGS และ PJS พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นในช่วง 110°C-123°C ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (k) และค่าความหนืดปรากฏที่อัตราการเฉือน 110 s⁻¹ (η_{110}) ของ PGS มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 7 สำหรับ PJS พบว่าค่า k และค่า η_{110} ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 123°C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 110°C อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 7 เนื่องจากระดับการถูกทำลายของโครงสร้างของสตาร์ชมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งสูงขึ้น จึงส่งผลให้โมเลกุลของสตาร์ชสามารถหลุดออกจากเศษชิ้นส่วนของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า WSI (Figure 20c) โดยสายโมเลกุลของสตาร์ชที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ชที่เกิดการแตกหักสามารถเกาะเกี่ยวกันระหว่างสายโมเลกุล (amylose/amylopectin interaction) หรือระหว่างเศษชิ้นส่วนของเม็ดสตาร์ชที่พองตัวกับสายโมเลกุลของสตาร์ช (granule-amylose/amylopectin interaction) (Eliasson, 1986) ดัง Figure 26 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งต่อความหนืดปรากฏของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ (Doublier *et al.*, 1986) จากการศึกษาผลของระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่อพฤติกรรมการไหลของ PGS และ PJS พบว่าค่า k และ ค่า η_{110} ของ PGS มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งลดลง ดัง Table 8 ซึ่งสอดคล้องกับผล

การศึกษาของ Anastasiades และคณะ (2002) ซึ่งศึกษาผลของความเร็วยรอบในช่วง 2-7 rpm ต่อค่า k และค่า η_{110} ของสตาร์ชข้าวโพดพรีเจลาติไนซ์ สำหรับ PJS พบว่าอิทธิพลของความเร็วยรอบของลูกกลิ้งไม่มีผลต่อค่า k และค่า η_{110} ($p \geq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tongta และคณะ (2007) ที่ศึกษาผลของความเร็วยรอบของลูกกลิ้ง (0.54-0.97 rpm) ต่อค่าความหนืดปรากฏของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ เมื่อพิจารณาผลของระดับความเข้มข้นของสตาร์ชต่อพฤติกรรมการไหลของ PGS และ PJS ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่าค่าความหนืดปรากฏที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ช 30% (โดยน้ำหนักแห้ง) มีค่าสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ช 35% (โดยน้ำหนักแห้ง) ดัง Figure 27 จาก Table 9 พบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของสตาร์ชลดลงส่งผลให้ค่า k และค่า η_{110} มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Tongta และคณะ (2007) ซึ่งศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำแป้ง (10% และ 30 %) ต่อค่าความหนืดปรากฏของแป้งข้าวพรีเจลาติไนซ์

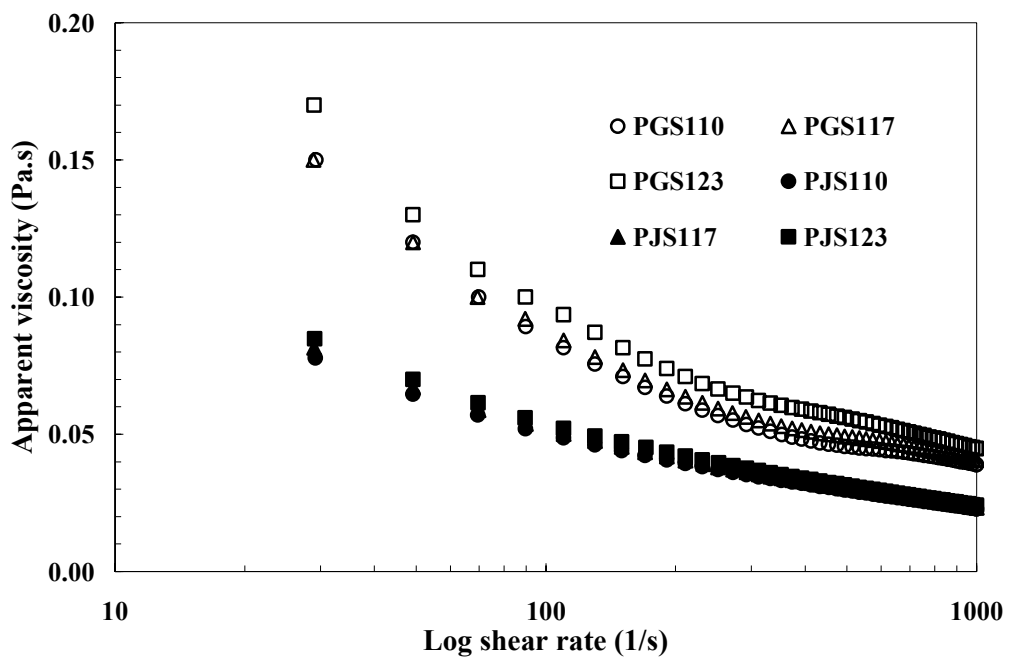


Figure 25. Apparent viscosity of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice was measured at 25°C over the shear rate of 10-1000 s^{-1} . (Drum dryer input parameters: starch concentration 35 % (db), drum temperature 110°C, 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).

Table 7. Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm).

Starch	Conditions (% / °C / rpm)	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{110} (Pa.s)
PGS	35 / 110 / 4	0.263 ^c ±0.006	0.720 ^a ±0.000	0.081 ^c ±0.002
	35 / 117 / 4	0.290 ^b ±0.010	0.717 ^a ±0.006	0.084 ^b ±0.001
	35 / 123 / 4	0.370 ^a ±0.010	0.697 ^b ±0.006	0.094 ^a ±0.001
PJS	35 / 110 / 4	0.260 ^b ±0.000	0.650 ^a ±0.000	0.049 ^b ±0.000
	35 / 117 / 4	0.267 ^b ±0.006	0.650 ^a ±0.000	0.050 ^b ±0.001
	35 / 123 / 4	0.283 ^a ±0.006	0.647 ^a ±0.006	0.052 ^a ±0.001

Note: Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

Table 8. Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).

Starch	Conditions (% / $^\circ\text{C}$ / rpm)	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{110} (Pa.s)
PGS	35 / 110 / 4	$0.263^b \pm 0.006$	$0.720^a \pm 0.000$	$0.081^b \pm 0.002$
	35 / 110 / 2	$0.361^a \pm 0.078$	$0.727^a \pm 0.006$	$0.087^a \pm 0.001$
PJS	35 / 110 / 4	$0.260^a \pm 0.000$	$0.650^a \pm 0.000$	$0.049^a \pm 0.000$
	35 / 110 / 2	$0.267^a \pm 0.012$	$0.640^a \pm 0.010$	$0.048^a \pm 0.001$

Note: Each value is mean of triplicate \pm SD. Different superscripts in each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

Table 9. Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) and Jasmine (PJS) rice (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm).

Starch	Conditions (% / $^\circ\text{C}$ / rpm)	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{110} (Pa.s)
PGS	35 / 110 / 4	$0.263^b \pm 0.006$	$0.720^a \pm 0.000$	$0.081^b \pm 0.002$
	30 / 110 / 4	$0.487^a \pm 0.011$	$0.671^b \pm 0.004$	$0.098^a \pm 0.000$
PJS	35 / 110 / 4	$0.260^b \pm 0.000$	$0.650^a \pm 0.000$	$0.049^b \pm 0.000$
	30 / 110 / 4	$0.377^a \pm 0.010$	$0.597^b \pm 0.002$	$0.055^a \pm 0.001$

Note: Each value is mean of triplicate \pm SD. Different superscripts in each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

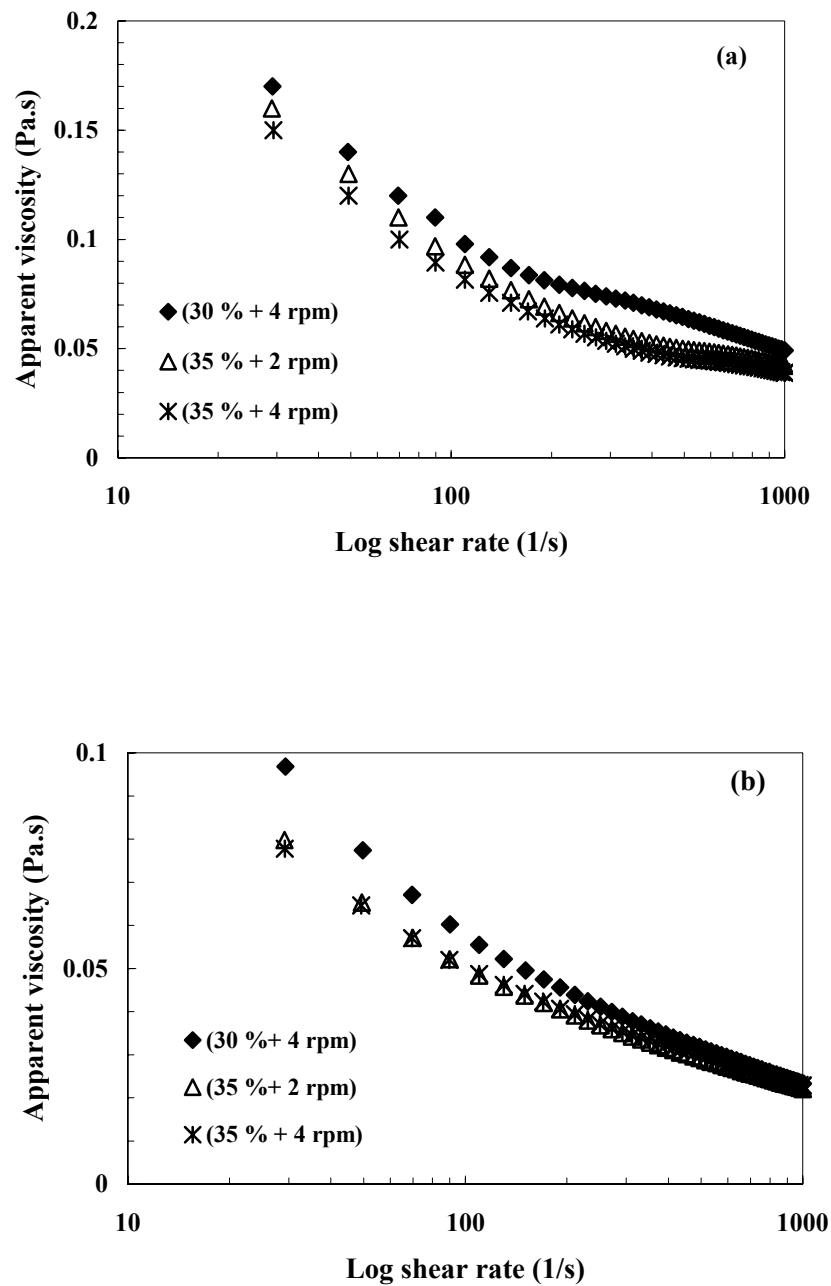


Figure 26. Apparent viscosity of pregelatinized starches from Glutinous (PGS) (a) and Jasmine (PJS) (b) rice was measured at 25°C over the shear rate of 10-1000 s^{-1} . (Drum dryer input parameters: drum temperature 110°C, starch concentration 30 % (db) rotation speed 4 rpm (30% + 4 rpm) and concentration 35 % (db) rotation speed 2 rpm (35% + 2 rpm) and 4 rpm (35% + 4 rpm)).

3. เปรียบเทียบสมบัติของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ผลิตได้กับสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ทางการค้า

เมื่อศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ในทุกสภาวะการผลิตเปรียบเทียบกับสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้า พบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้ามีค่า WAI สูงกว่าสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ในทุกสภาวะการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 10 ยกเว้น PGS ซึ่งถูกคัดแปรที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ช 35% (โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 110°C และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm ซึ่งมีค่า WAI ใกล้เคียงกับสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้า นอกจากนี้พบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้ามีค่า WSI ต่ำกว่า PGS อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 10 ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับ PJS และ PCS พบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้ามีค่า WSI สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 10 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติการเกิดสตาร์ชเพสท์ พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้าปรากฏ cold peak ดัง Figure 27 โดยสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้ามีค่า cold peak สูงกว่า PGS ที่ทุกสภาวะการผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ต่ำกว่าค่า cold peak ของ PJS ในทุกสภาวะการผลิต ยกเว้น PJS ซึ่งถูกคัดแปรที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ช 35% (โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 123°C และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm ซึ่งมีค่า cold peak ไม่แตกต่างกับสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 11 นอกจากนี้พบว่า มีค่า cold peak ต่ำกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Table 11) และเมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมกราฟไหล พบว่า สตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้ามีพฤติกรรมกราฟไหลแบบ shear-thinning (Figure 28) โดยมีค่า k และค่า η_{110} สูงกว่าสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ในทุกสภาวะการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Table 12) และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดปรากฏพบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้าสูงกว่าสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ในทุกสภาวะการผลิต โดย PGS ที่ผ่านการคัดแปรที่ระดับความเข้มข้นของสตาร์ชข้าวเหนียว 30% (โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 110°C และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm เป็นสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ที่ให้ค่าความหนืดปรากฏที่อุณหภูมิต่ำใกล้เคียงกับสตาร์ชมันสำปะหลังพรีเจลาติไนซ์ทางการค้ามากที่สุดจึงถูกเลือกมาประยุกต์ใช้ในน้ำสลัดไขมัน

Table 10. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of commercial pregelatinized starch (CPS) compared to pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).

Starch	Conditions (% / °C / rpm.)	WAI (g/g)	WSI (%)
CPS	-	29.67 ^a ± 1.40	15.16 ^e ± 0.14
PGS	35 / 110 / 4	29.25 ^a ± 1.02	27.10 ^d ± 1.18
	35 / 117 / 4	25.12 ^c ± 0.62	29.14 ^c ± 1.33
	35 / 123 / 4	22.44 ^d ± 2.06	41.57 ^a ± 3.04
	35 / 110 / 2	26.92 ^b ± 0.77	30.51 ^c ± 0.44
	30 / 110 / 4	21.49 ^e ± 1.69	39.67 ^b ± 1.93
PJS	35 / 110 / 4	20.55 ^e ± 0.06	8.14 ^{gh} ± 0.10
	35 / 117 / 4	21.05 ^e ± 0.18	9.83 ^{fg} ± 0.71
	35 / 123 / 4	21.56 ^e ± 0.06	10.41 ^f ± 0.05
	35 / 110 / 2	20.61 ^e ± 0.04	10.00 ^{fg} ± 0.44
	30 / 110 / 4	20.81 ^e ± 0.39	9.31 ^{fg} ± 0.23
PCS	35 / 110 / 4	10.71 ⁱ ± 0.38	4.65 ⁱ ± 0.09
	35 / 117 / 4	11.72 ^{gh} ± 0.24	5.07 ⁱ ± 0.14
	35 / 123 / 4	15.74 ^f ± 0.67	6.07 ^{hi} ± 0.86
	35 / 110 / 2	13.68 ^g ± 0.26	5.65 ⁱ ± 0.48
	30 / 110 / 4	10.83 ⁱ ± 0.14	5.56 ⁱ ± 0.30

Note: Each value is mean of duplicate ± SD. Different superscripts in each column denote significant differences ($p < 0.05$).

Table 11. Viscosity parameter from Rapid Visco Analyzer of commercial pregelatinized starch (CPS) compared to pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).

Starch	Conditions (%/°C/rpm.)	Cold Peak Viscosity (mPa.s)	Hot Peak Viscosity (mPa.s)	Breakdown (mPa.s)	Setback (mPa.s)	Final Viscosity (mPa.s)
CPS	-	5545.33 ^d ±121.58	-	-	-	-
PGS	35 / 110 / 4	3754.50 ^e ±37.48	-	-	-	-
	35 / 117 / 4	2106.00 ^g ±32.53	-	-	-	-
	35 / 123 / 4	1388.00 ⁱ ±209.30	-	-	-	-
	35 / 110 / 2	3485.50 ^f ±132.23	-	-	-	-
	30 / 110 / 4	1799.67 ^h ±126.06	-	-	-	-
PJS	35 / 110 / 4	9275.00 ^a ±84.85	-	-	-	-
	35 / 117 / 4	7924.50 ^c ±7.78	-	-	-	-
	35 / 123 / 4	5511.00 ^d ±214.96	-	-	-	-
	35 / 110 / 2	8720.00 ^b ±148.89	-	-	-	-
	30 / 110 / 4	7724.50 ^c ±78.49	-	-	-	-
PCS	35 / 110 / 4	-	4969.00 ^{cd} ±39.60	3598.50 ⁱ ±330.22	2879.50 ^a ±181.73	4250.00 ^b ±108.89
	35 / 117 / 4	-	4858.00 ^d ±31.11	3572.50 ⁱ ±3.54	3004.50 ^a ±72.83	4290.00 ^b ±45.25
	35 / 123 / 4	-	5480.00 ^b ±90.51	3893.50 ^h ±40.31	2796.00 ^a ±287.09	4382.50 ^b ±236.88
	35 / 110 / 2	-	6046.50 ^a ±127.99	4162.50 ^g ±64.35	2862.50 ^a ±34.65	4746.50 ^a ±98.29
	30 / 110 / 4	-	5059.50 ^c ±13.44	3635.00 ⁱ ±35.36	2887.50 ^a ±299.11	4792.00 ^a ±428.51

Note: Each value is mean of duplicate ± SD. Different superscripts in each column denote significant differences (p<0.05).

Table 12. Consistency index (k), flow behavior index (n) and apparent viscosity at shear rate 110 s^{-1} (η_{110}) of commercial pregelatinized starch (CPS) compared to pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm).

Starch	Conditions (% / $^\circ\text{C}$ / rpm)	k (Pa.s ⁿ)	n	η_{110} (Pa.s)
Commercial	-	3.750 ^a ±0.121	0.570 ^h ±0.000	0.465 ^a ±0.007
PGS	35 / 110 / 4	0.263 ^e ±0.006	0.720 ^{ab} ±0.000	0.081 ^e ±0.002
	35 / 117 / 4	0.290 ^{de} ±0.010	0.717 ^b ±0.006	0.084 ^d ±0.001
	35 / 123 / 4	0.370 ^{cd} ±0.010	0.697 ^c ±0.006	0.094 ^c ±0.001
	35 / 110 / 2	0.361 ^{cd} ±0.078	0.727 ^a ±0.006	0.087 ^d ±0.001
	30 / 110 / 4	0.487 ^b ±0.011	0.671 ^d ±0.004	0.098 ^b ±0.000
PJS	35 / 110 / 4	0.260 ^e ±0.000	0.650 ^e ±0.000	0.049 ^{gh} ±0.000
	35 / 117 / 4	0.267 ^e ±0.006	0.650 ^e ±0.000	0.050 ^{gh} ±0.001
	35 / 123 / 4	0.283 ^{ed} ±0.006	0.647 ^{ef} ±0.006	0.052 ^{fg} ±0.001
	35 / 110 / 2	0.267 ^e ±0.012	0.640 ^f ±0.010	0.048 ^h ±0.001
	30 / 110 / 4	0.377 ^c ±0.010	0.597 ^g ±0.002	0.055 ^f ±0.001

Note: Each value is mean of duplicate ± SD. Different superscripts in each column denote significant differences ($p < 0.05$).

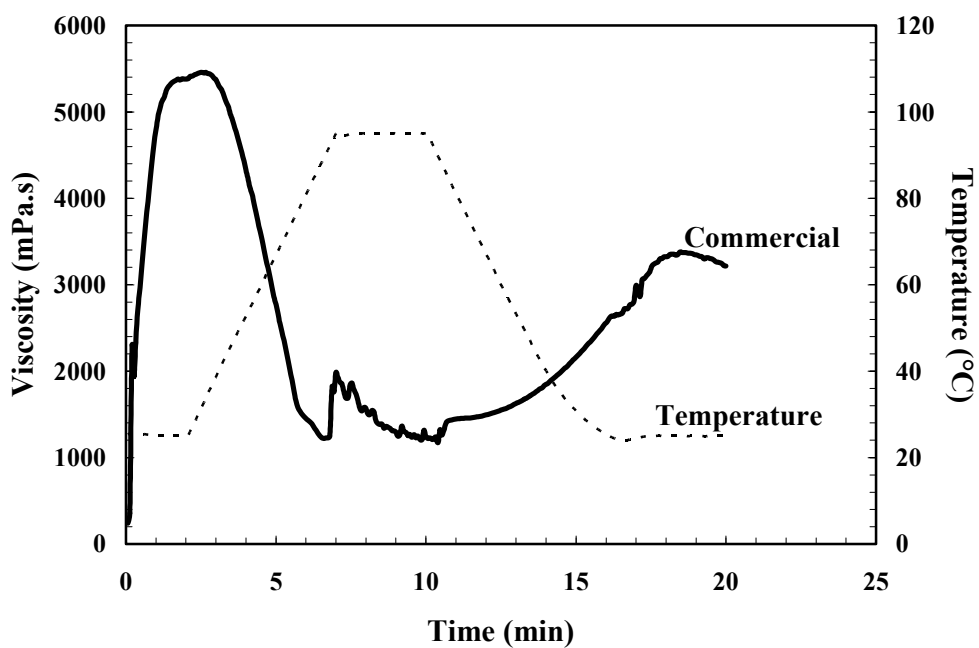


Figure 27. RVA profile of commercial pregelatinized starch.

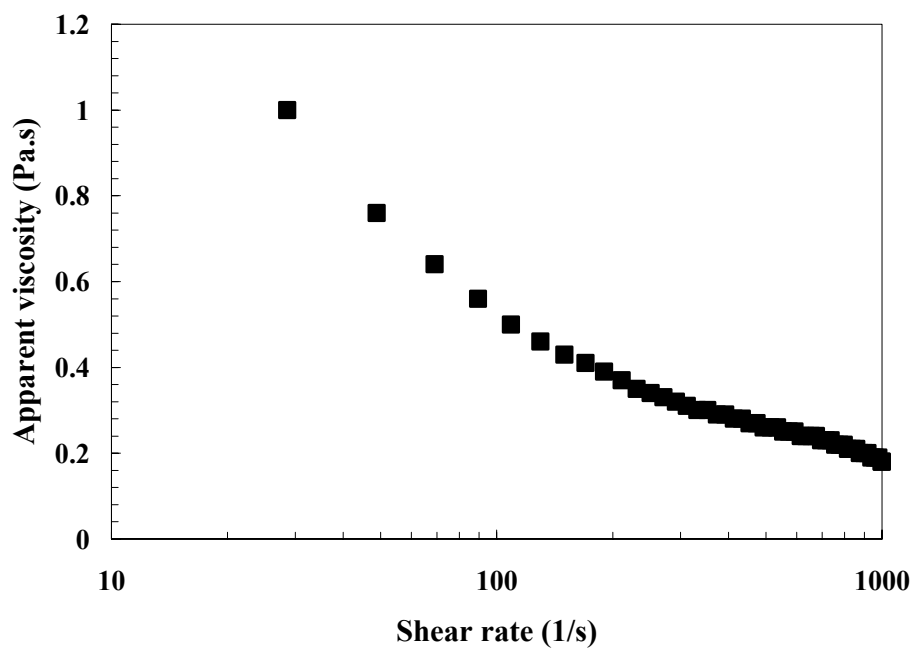


Figure 28. Apparent viscosity of commercial pregelatinized starch was measured at 25°C over the shear rate of 10-1000 s^{-1} .

4. การประยุกต์ใช้สสารสีขาวพรีเจลาติโนซีในการผลิตน้ำสลัดไขมันต่ำ

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดไขมันต่ำ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสลัดไขมันต่ำแสดงดัง Table 13 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบน้ำสลัดสูตรควบคุม (control) ที่ไม่มีการเติม PGS ในน้ำสลัดไขมันต่ำ พบว่าน้ำสลัดไขมันต่ำสามารถลดปริมาณพลังงาน (caloric value) ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อปริมาณ PGS ในน้ำสลัดไขมันต่ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณไขมันและพลังงาน (caloric value) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นคุณลักษณะโดยทั่วไปของอาหารที่มีการเติมคาร์โบไฮเดรตเป็นสารทดแทนไขมัน (Akoh, 1998) เมื่อเปรียบเทียบน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผลิตได้น้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้าพบว่าน้ำสลัดไขมันต่ำที่ผลิตได้มีปริมาณไขมันและพลังงานสูงกว่าน้ำสลัดทางการค้า โดยพบว่าน้ำสลัดไขมันต่ำทางการค้ามีปริมาณไขมันในช่วง 8-25 % wb และมีค่าพลังงานในช่วง 194-333 kcal/100g

Table 13. Chemical compositions and caloric values of control and low fat salad dressings.

Salad dressing	Moisture content (% db)	Fat (% db)	Carbohydrate (% db)	Protein (% db)	Ash (% db)	Caloric values (kcal/100g)
Control	26.25 ^c ±0.02	56.08 ^a ±0.36	38.54 ^b ±0.34	3.11 ^a ±0.01	2.27 ^c ±0.01	671.30 ^a ±1.89
Sample 1	53.56 ^d ±0.05	60.79 ^b ±0.63	33.44 ^c ±0.62	3.13 ^d ±0.02	2.64 ^c ±0.01	693.35 ^b ±3.26
Sample 2	56.57 ^c ±0.16	58.05 ^c ±0.23	35.86 ^d ±0.38	3.32 ^c ±0.01	2.77 ^d ±0.01	679.13 ^c ±0.64
Sample 3	59.13 ^b ±0.06	45.89 ^d ±0.13	47.42 ^c ±0.12	3.65 ^b ±0.05	3.05 ^b ±0.01	617.30 ^d ±0.84
Sample 4	67.56 ^a ±0.30	31.38 ^c ±0.19	61.27 ^a ±0.30	3.89 ^b ±0.03	3.46 ^a ±0.01	543.09 ^e ±1.84

Note: Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in the column for each salad dressing denote significant differences ($p < 0.05$).

4.2 ลักษณะและขนาดอนุภาคของเม็ดไขมัน

การศึกษาลักษณะและขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันในน้ำสลัดไขมันต่ำและน้ำสลัดสูตรควบคุมด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า พบว่าเมื่อปริมาณ PGS ในน้ำสลัดไขมันต่ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อนุภาคของเม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงแสดงดัง Table 14 และอนุภาคของเม็ดไขมันเกิดการกระจายตัวในน้ำสลัดมากขึ้น (Figure 29) โดยพบว่าน้ำสลัดไขมันต่ำสูตรที่ 4 ซึ่งมีปริมาณ PGS มากที่สุดมีขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันเล็กที่สุด (1.935 μm) และมีการกระจายตัวมากที่สุด (Figure 29e) เนื่องจากปริมาณ PGS ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เพิ่มความหนืดและหน่วงเม็ดไขมันไม่ให้อัดตัวกัน เม็ดไขมันจึงเคลื่อนที่ได้ช้าและมีโอกาสรวมตัวกันน้อยลง (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545 และ Chun *et al.*, 1997) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำสลัดไขมันต่ำสูตรที่ 1 (Figure 29b) มีขนาดอนุภาคของเม็ดไขมันใหญ่กว่าน้ำสลัดสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากปริมาณ PGS ในน้ำสลัดไขมันต่ำสูตรที่ 1 ไม่ส่งผลให้เกิดความหนืดที่เพียงพอต่อการป้องกันการรวมตัวกันของเม็ดไขมันทำให้เกิดความไม่คงตัวของน้ำสลัดขึ้น

Table 14. Particle size of oil droplet control and low fat salad dressings.

Salad dressing	Particle size (μm)
Control	4.135 ^b ± 0.123
Sample 1	4.616 ^a ± 0.074
Sample 2	2.187 ^c ± 0.013
Sample 3	2.142 ^c ± 0.013
Sample 4	1.935 ^d ± 0.097

Note: Each value is mean of triplicate \pm SD. Different superscripts in the column for each salad dressing denote significant differences ($p < 0.05$).

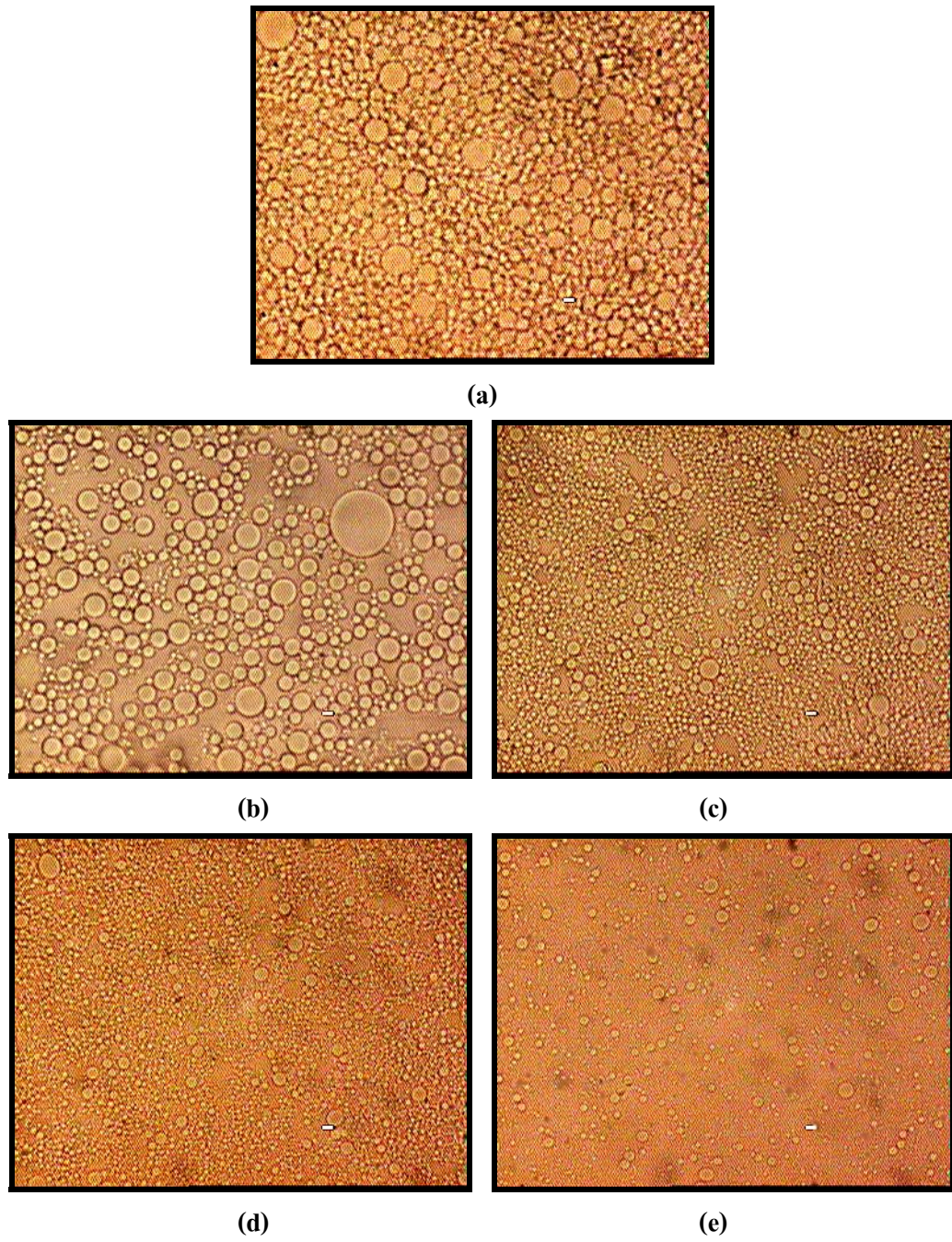


Figure 29. Optical microscope (x400) of control (a) and sample 1 (b), sample 2 (c), sample 3 (d) and sample 4 (e) of low fat salad dressing.

4.3 พฤติกรรมการไหล (flow behavior)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือนของน้ำสลัดไขมันต่ำในสูตรต่างๆ พบว่าเป็นไปตามกฎสมการยกกำลัง (power law) ดังสมการที่ 10 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูง ($R^2 \geq 0.99$, $p < 0.05$) จากการศึกษาผลของอัตราการเฉือนต่อความหนืดปรากฏของน้ำสลัดไขมันต่ำในสูตรต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดปรากฏลดลง ซึ่งแสดงว่ามีพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thinning เช่นเดียวกับพฤติกรรมการไหลของสตาร์ชพรีเจลาตินและน้ำสลัดสูตรควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาพฤติกรรมการไหลของมายองเนสทางการค้าและมายองเนสไขมันต่ำ (Peressini *et al.*, 1998 and Worrasinchai *et al.*, 2006) เมื่อปริมาณ PGS ในน้ำสลัดไขมันต่ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนืดปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้น ดัง Figure 30 และพบว่าความหนืดปรากฏของน้ำสลัดไขมันสูตรที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับน้ำสลัดสูตรควบคุมมากที่สุด

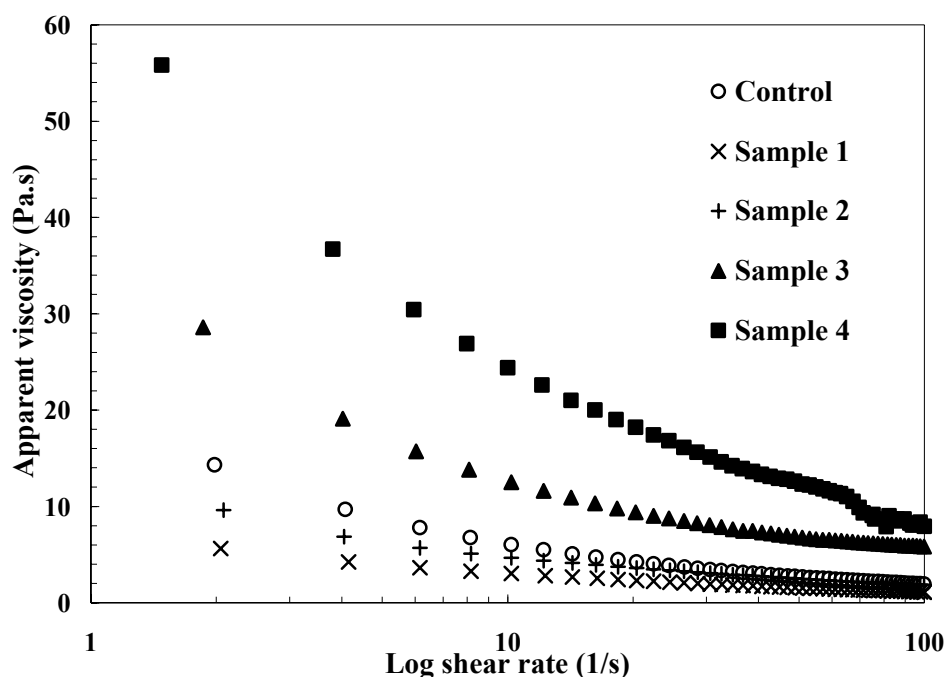


Figure 30. Apparent viscosity of control and low fat salad dressings was measured at 25°C over the shear rate of 1-100 s^{-1} .

4.4 สมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic properties)

การศึกษาสมบัติวิสโคอีลาสติกของน้ำสลัดสูตรควบคุม และน้ำสลัดไขมันต่ำในสูตรต่างๆ พบว่าทุกตัวอย่างมีค่า storage modulus (G') เพิ่มขึ้น เมื่อค่าความถี่เพิ่มขึ้นในช่วง 1-100 Hz ซึ่งแสดงถึงคุณลักษณะของเจลอ่อน (weak gel) ดัง Figure 31 โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Worrasinchai และคณะ (2007) ซึ่งพบว่ามายองเนสไขมันต่ำมีคุณลักษณะแบบเจลอ่อนในช่วงความถี่ 0.1-100 Hz เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำสลัดสูตรควบคุมกับน้ำสลัดสูตรไขมันต่ำพบว่าน้ำสลัดไขมันต่ำทุกสูตรมีค่า G' สูงกว่าน้ำสลัดสูตรควบคุม โดยพบว่าเมื่อปริมาณ PGS ในน้ำสลัดไขมันต่ำเพิ่มขึ้นทำให้ค่า G' มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสตาบิไลเซอร์ที่เติมลงไปจะช่วยทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห (Tung and Jones, 1981) ส่งผลให้น้ำสลัดไขมันต่ำมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Langton และคณะ (1999) ซึ่งพบว่ามายองเนสที่มีค่า G' สูงมีลักษณะโครงสร้างแบบของแข็ง (solid-like) มากขึ้น

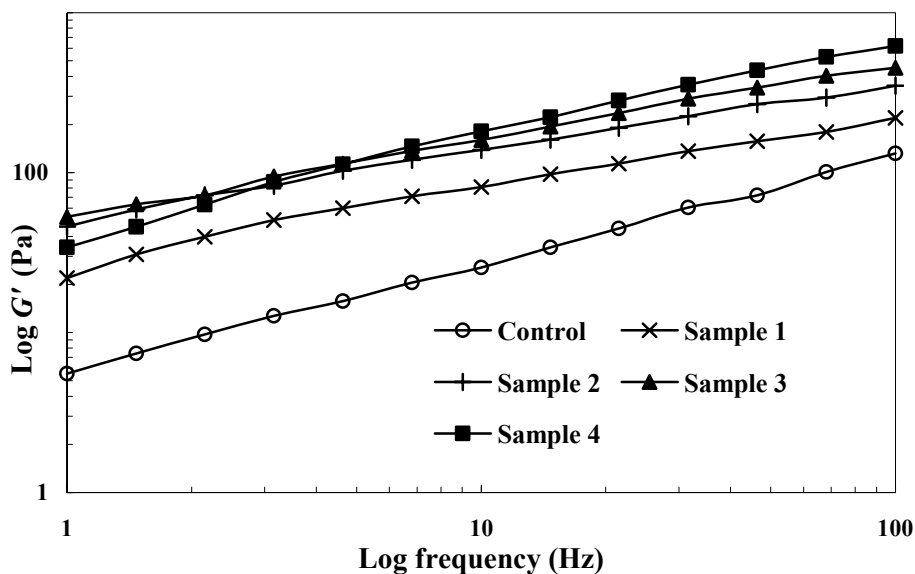


Figure 31. Storage modulus (G') of control and low fat salad dressings was measured at 25°C over the frequency of 1-100 s⁻¹.

4.5 ความคงตัวของน้ำสลัด (stability)

การศึกษาความคงตัวของน้ำสลัดสูตรควบคุมและน้ำสลัดสูตรไขมันต่ำ พบว่าเมื่อปริมาณ PGS ในน้ำสลัดไขมันต่ำเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าความคงตัวของน้ำสลัดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 15 เนื่องจากเมื่อปริมาณ PGS เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำสลัดมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น โดยความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นสามารถตรึงโครงสร้างของน้ำสลัดและสามารถหน่วงเม็ดไขมันไม่ให้เกิดการรวมตัวกัน น้ำสลัดจึงมีความคงตัวเพิ่มขึ้น (ปารินทร์ หงสประภาส, 2545 และ Chun *et al.*, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดไขมันดัง Figure 28 เมื่อเปรียบเทียบน้ำสลัดสูตรไขมันต่ำกับน้ำสลัดสูตรควบคุมพบว่าน้ำสลัดไขมันต่ำสูตรที่ 3 และ 4 มีความคงตัวมากกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากน้ำสลัดไขมันต่ำที่มีปริมาณ PGS สูงทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงและเกิดความหนืดเพียงพอที่จะหน่วงเม็ดไขมันไม่ให้มารวมตัวกัน ประกอบกับน้ำสลัดไขมันต่ำสูตรที่ 3 มีปริมาณไขมันลดน้อยลงมาก (Table 1) จึงทำให้โอกาสที่เม็ดไขมันเคลื่อนที่มา รวมตัวกันและเกิดการแยกชั้นของน้ำสลัดเกิดขึ้นได้ยากกว่า

Table 15. Stability of control and low fat salad dressings.

Salad dressing	Stability (%)
Control	95.56 ^c ±0.77
Sample 1	82.67 ^c ±0.00
Sample 2	87.11 ^d ±0.77
Sample 3	98.33 ^b ±0.00
Sample 4	100.00 ^a ±0.00

Note: Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in the column for each salad dressing denote significant differences ($p < 0.05$).

บทที่ 4

สรุป

การศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสและสภาวะการผลิต ได้แก่ ความเข้มข้นของสตาร์ช (30% และ 35% โดยน้ำหนักแห้ง) ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (2 rpm และ 4 rpm) และอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง (110°C, 117°C และ 123°C) ต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชข้าวที่ผ่านการตัดแปรด้วยกระบวนการพรีเจลาติไนเซชันโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ สตาร์ชข้าวที่ใช้มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ สตาร์ชข้าวเหนียว (1.41%) สตาร์ชข้าวขาวดอกมะลิ 105 (14.96%) และสตาร์ชข้าวแข็ง (20.16%) ผลการศึกษาพบว่าปริมาณอะมิโลสมีผลต่อสมบัติของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ กล่าวคือ ลักษณะทางโครงสร้างของสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์จากข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (PGS) และปริมาณอะมิโลสปานกลาง (PJS) มีระดับการถูกทำลายจากกระบวนการพรีเจลาติไนเซชันมากกว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง (PCS) โดยพบว่า PGS และ PJS มีลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐาน และไม่ปรากฏพีคที่ 1047 cm^{-1} จึงสามารถเกิดความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำ (cold peak viscosity) และมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thinning ส่วน PCS ปรากฏโครงสร้างผลึกแบบ V (V-type crystallinity) และพีคขนาดเล็กที่ 1047 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึงการมีโครงสร้างผลึกที่มีอยู่ จึงทำให้ไม่สามารถละลาย และเกิดความหนืดที่อุณหภูมิต่ำ (25°C) และยังคงปรากฏ hot peak viscosity

การศึกษาผลของสภาวะการผลิตต่อสมบัติของสตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์พบว่า ระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้น ระดับความเร็วรอบและความเข้มข้นของสตาร์ชที่ลดลง มีผลต่อการเพิ่มระดับการถูกทำลายของเมล็ดสตาร์ชโดยสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำและปานกลางถูกทำลายได้มากกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง โดยพบว่าค่าความหนืดอินทรินสิก [7] ซึ่งบ่งบอกถึงขนาดโมเลกุลสตาร์ชมีค่าลดลง สอดคล้องกับค่า WSI ที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า WAI เปลี่ยนแปลงตามปริมาณอะมิโลส โดยสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะให้ค่า WAI ลดลง แต่สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะให้ค่า WAI เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระดับการถูกทำลายของเมล็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า cold peak viscosity ของ PGS และ PJS ลดลง เมื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (25°C) ของ PGS และ PJS พบว่าเมื่อระดับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นและระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้งลดลงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว (k) และค่าความหนืดปรากฏที่อัตราการเฉือน 110 s^{-1} (η_{110}) ของ PGS มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับ PJS พบว่าค่า k และค่า η_{110} ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 123°C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 110°C อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งไม่มีอิทธิพลต่อค่า k และค่า η_{110} เมื่อระดับความเข้มข้นของ

สตาร์ชลดลงส่งผลให้ค่า k และค่า η_{110} ของ PGS และ PJS มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระดับการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ PCS มีค่า hot peak viscosity เพิ่มขึ้น

เมื่อศึกษาการประยุกต์ใช้สตาร์ชข้าวพรีเจลาติไนซ์ในการทดแทนไขมันในน้ำสลัด โดยเลือกใช้สตาร์ชที่มีค่าความหนืดปรากฏที่อุณหภูมิต่ำสูงสุด คือ PGS ที่ผ่านการดัดแปรที่ระดับความเข้มข้น 30% (โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 110°C และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 4 rpm พบว่าเมื่อเติม PGS ในระดับการทดแทนน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไขมันและพลังงานในน้ำสลัดลดลง และพบว่า ค่า G' ค่าความหนืดปรากฏ และค่าความคงตัวของน้ำสลัดมีค่าเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเครื่องขนาดเล็กซึ่งใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ จึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องของระดับอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งซึ่งอาจมีระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเครื่องทำแห้งในระดับอุตสาหกรรม ส่งผลให้กระบวนการเจลาติไนเซชันที่เกิดขึ้นอาจไม่ดีเทียบเท่ากับในระดับอุตสาหกรรม ประกอบกับมีข้อจำกัดในการปรับระดับความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ซึ่งเครื่องที่ใช้ให้ห้องปฏิบัติการสามารถปรับระดับความเร็วรอบได้เพียง 2 ระดับ คือ 2 rpm และ 4 rpm จึงทำให้ผลการศึกษาที่ได้อาจไม่พบความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ดังนั้นหากสามารถทำการศึกษากับเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สามารถปรับสภาวะการผลิตเทียบเท่ากับระดับอุตสาหกรรมได้ จะช่วยให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

2. สตาร์ชข้าวเหนียวพรีเจลาติไนซ์ (PGS) เหมาะที่จะนำไปดัดแปลงเป็นสารให้ความข้นหนืด แต่เนื่องจาก PGS มีค่า WSI สูง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาไม่สามารถกระจายตัวได้ทันที และเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนของผงสตาร์ช (cohesiveness) ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบเนียนและไม่ได้ความหนืดตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงอาจนำ PGS มาดัดแปรด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่การดัดแปรแบบเชื่อมข้าม (cross-linking) เพื่อช่วยลดค่า WSI ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดี และให้ความหนืดอย่างรวดเร็วโดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นก้อน เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เรียบเนียน

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2551. องค์ความรู้เรื่องข้าว (ออนไลน์). สืบค้นจาก :

<http://www.ricethailand.go.th/rkb/index.html>. (25 สิงหาคม 2551).

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

จำเริญ อัจฉราภรณ์. 2537. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีแปรสภาพทางกายภาพและทางเคมีแบบเชื่อมข้ามร่วมกับวิธีอะซิทธิลเลชันและพรีเจลาติไนเซชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทร์เพ็ญ ไชยนุ้ย และทิพย์สุดา ศาสกุล. 2545. การดัดแปรแป้งข้าวอะมิโลสสูงโดยวิธีพรีเจลาติไนเซชันและการย่อยด้วยกรด. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชนินันท์ วรธนะทัย. 2542. การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทย และการผลิตมอลโทเด็กซ์ทริน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

ตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย. 2551. ข้าวหอมมะลิ 100 เปอร์เซ็นต์ ชั้น 2 Both Options (BHMR) (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.afet.or.th/v081/thai/product/>. (26 สิงหาคม 2551).

ปาริฉัตร หงสประภาส. 2545. เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

ภานุมาศ รุ่งเรืองอารี. 2541. ผลของแป้งข้าวพรีเจลาติไนซ์และการเสริมโปรตีนต่อคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณุวัฒน์, รุ่งทิวา วันสุขศรี และบุญทิวา นิลจันทร์. 2546. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ลัดดา ยังประสิทธิ์พร. 2532. การใช้แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ในขนมจีน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมจิต สุรพัฒน์. 2541. การใช้สแตร์ชตัดแปรเป็นสารทดแทนไขมันในไอศกรีมกะทิ. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีงบประมาณ 2541. โครงการวิจัยรหัส ท-อ2.41. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2534. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ. ว.เกษตรศาสตร์(วิทย์) 25 : 318-325.

สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว. 2550. ข้าวเหนียว : อนาคต การผลิต และการค้า (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.riceproduct.org/index.php?option=com_content&task=view&id=68&Itemid=2. (27 สิงหาคม 2551)

อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง: เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

เอกพันธุ์ แก้วฉวีชัย. 2538. การตัดแปรสแตร์ชในแป้งมันสำปะหลังและข้าวด้วยวิธีอะซีทิลเลชัน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Akoh, C. C. 1998. Fat replacers. Food Technology. 52: 47-53.

Alexandar, R. J. 1995. Pregelatinized starches-what are they all about?. Cereal Food Word. 40: 769-770.

- Anastasiades, A. Thanou, S., Loulis, D., Stapatoris, A. and Karapantsios, T. D. 2002. Rheological and physical characterization of pregelatinized maize starches. *J. Food Eng.* 52: 57-66.
- Anderson, R. A., Conway, F. H., Pfeiffer, F. V. and Griffin, L. E. 1969. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today.* 14: 4-12.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemists Washington.
- Ben-Gera, I., Smith, B. O. and Rakey, J. G. 1986. Energy aspects in extrusion cooking of starches and flours. *In Thermal Processing and Quality of Foods.* (Zenthen, P., Cheftel, C. J., Eriksson, C., Jul, M., Leniger, H. Linko, P. Varela, G. and Elsevier, V. G., eds.) p. 238-245. Applied Science. London.
- Bligh, E. G., and Dyer, W. J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology.* 37: 911-917.
- Champagne, T. E. 1996. Rice starch composition and characteristics. *Cereal Food World.* 41: 833-838
- Chun, J., Lim, S., Takeda, Y. and Shoki, M. 1997. Properties of high-crystalline rice amyloextrins prepared in acid-alcohol media as fat replacers. *Cereal foods world.* 42(10): 813-819
- Colonna, P., Doublier, L. J., Melcion, P. J., Melcion de, F. and Mercier, C. 1984. Extrusion-cooking and drum drying of wheat starch: I Physical and macromolecular modification. *Cereal Chem.* 61: 583-543.
- Colonna, P., Tayeb, J. and Mercier, C. 1989. Extrusion cooking of starch and starchy products. *In Extrusion cooking.* (Mercier, C., Linko, P. and Harper, M. J., eds.) p. 247-319. Association of Cereal Chemist. Minesota.
- Doublier, J. L. 1981. Rheological studies on starch. Flow behavior of wheat starch pastes. *Starch/Stärke.* 33: 415-420.

- Doublier, J. L., Colonna, P. and Mercier, C. 1986. Extrusion of cooking and drum drying of wheat starch. II Rheological characterization starch pastes. *Cereal Chem.* 63: 240-246.
- Ellis, R. P., Cochrane, M. P. and Dale, M. F.B. 1998. Starch production and industrial use. *JSFA.* 77: 289-311.
- Elevina, P. S., Zurima, G. S. and Caracas. 1997. Functional properties of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) starch modified by physical methods. *Starch/Stärke.* 49: 49-53.
- Elliasson, A. C. 1985. Retrogradation of starch as measured by differential scanning calorimetry. *In New Approaches to Research on Cereal Carbohydrates.* (Hill, R. D. and Munck, L., eds.). p. 93-98. Elsevier Science Publisher. Amsterdam.
- Evans, I. D. and Haisman, D. R. 1979. Rheology of gelatinized starch suspension. *J. Texture stud.* 10: 347-370.
- French, D. 1984. Organization of starch granules. *In Starch chemistry and Technology.* (Whistler, R. L., BeMiller, J. N and Passcall, E.F, eds.). p. 183-247. Academic Press. New York.
- Gallant, D. J., Bouchet, B. and Baldwin, M. P. 1997. Microscopy of starch : evidence of a new level of granule organization. *Carbohydr. Polym.* 32: 177-191.
- Galliard, T. and Bowler, P. 1987. Morphology and composition of starch. *In Starch: Properties and Potential.* (Galliard, T., ed.). p. 55-77. Society of Chemical Industry. Great Britain.
- Gunaratne, A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydr Polym.* 49: 425-437.
- Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. *Carbohydrates Res.* 147: 342.
- Hoover, P. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr. Polym.* 45: 253-267.

- Jane, J. and Chen, F. J. 1992. Effect of amylase molecular size and amylopectin branch length on paste properties of starch. *Cereal Chem.* 69: 60-65.
- Juliano, B. O. 1985. Polysaccharides, Proteins and Lipids of Rice. *In Rice Chemistry and Technology* (Juliano, B. O., ed.). p. 59-174. American Association of Cereal Chemists. Minnesota.
- Kalogianni, P. E., Xynogolos, A. V., Karapantisions, D. T. and Kostoglou, M. 2002. Effect of feed concentration on the production of pregelatinized starch in a double drum dryer. *LWT.* 35: 703-714.
- Langton, M., Jordansson, E., Altskair, A., Sorensen, C., and Hermansson, A. 1999. Microstructure and image analysis of mayonnaises. *Food Hydrocolloids.* 13: 113–125.
- Launay, B., Doublier, J. L. and Cuvelier, G. 1986. Flow properties of aqueous solutions and dispersions of polysaccharides. *In Functional Properties of Food.* (Mitchell, J. R. and Ledward, D. A., eds.). p. 1-78. Applied Science. London.
- Lizuka, K. and Aishima, T. 1999. Starch gelation process observed by FT-IR/ATR Spectrometry with multivariate data analysis. *J. Food. Sci.* 64: 653-658.
- Manners, D. J. 1989. Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydr. Polym.* 11: 87-112.
- Mercier, C. 1987. Comparative modifications of starch and starchy products by extrusion cooking and drum-drying. *In Pasta and extrusion cooked foods.* (Mercier, C. and Cantarelli, C., eds.). p. 120-130. Elsevier Applied Science. London.
- Mitchell, J. R., Hill, S. E. Paterson, L., Valles, B., Barclay, F. and Blanshard, J. M. V. 1997. The role of molecular weight in the conversion of starch. *In STARCH Structure and Functionality.* (Frazier, P.J., Donald, A.M. and Richmond, P., eds.). p. 68-76. The Royal Society of Chemistry. Cambridge.

- Namutebi, A.S. 2002. Extrusion processing of sweet potato. Ph.D. thesis. Nottingham University.
- Noel, T. R., Ring, S. G. and Whittam, M. A. 1993. Physical properties of starch products. Structure and functional. *In* Food colloids and polymers: stability and mechanical properties (Dickinson, E. and Walstra, P., eds.). p. 126-135. Royal Society of Chemistry. Cambridge.
- Noosuk, P., Hill, S. E., Pradipasena, P. and Mitchell, J. R. 2003. Structure-Viscosity Relationships for Thai rice structures. *Starch/Stärke*. 55: 337-344.
- Noosuk, P., Hill, S. E., Farhat, I. A., Pradipasena, P. and Mitcheli J. R. 2005. Relationship between viscoelastic properties and starch structure in rice from Thailand. *Starch/Stärke*. 57: 587-598.
- Powell. E. L. 1967. Production and use of pregelatinize starch. *In* Starch: Chemistry and Technology Vol II. (Whistler, L. R. and Paschall, F. E., eds.). p. 523-526. Academic Press. New York.
- Peressini, C., Sensidoni, A. and de Cindio, B. 1998. Rheological characterization of traditional and light mayonnaises, *J. Food Eng.* 35: 409-417.
- Robin, J. P., Mercier, C., Charbonniere, R. and Guilbotm, A. 1974. Gel filtration and enzymic studies of insoluble residue from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.* 51: 389-406.
- Schoch, T. J. 1967. Properties and uses of rice starch. *In* Starch: Chemistry and Technology. 2nd Ed. (Whistler, R. L., BeMiller, N. J., and Paschall, F. E., eds.). p. 79-86. Academic Press. Florida.
- Shanthy, A. P., Sowhagya, C. M. and Bhattachaya, K. R. 1980. Simplified determination of water-insoluble amylose content of rice. *Starch/Stärke*. 12: 409-411.
- Sheng, D. Y. 1995. Rice-based ingredients in cereal and snack. *Cereal Food world*. 40: 538-540.
- Shinn, B. 1976. Evaluation of drum drying *In* Starch production technology. (Radley, A. J., ed). p. 229-237. Applied Science. London.

- Smith, P. S. 1982. Starch derivatives and their uses in food. *In* Food Carbohydrates. (Lineback, R. D. and Inglett, E. G., eds.). p. 237-269. The Avj. Weatport.
- Takeda, Y., Hizukuri, S. Takeda, C. and Suzuki, A. 1987. Structures of branched molecules of amylose of various origins and the molar fractions of branched and unbranched molecules. *Carbohydr. Res.* 165: 139-145.
- Terazawa, Y., Miyazawa, M., Kawano, S., Maekawa, T. 2003. Infrared spectra analyses of gelatinized and retrograded wheat starch. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi.* 50: 162-166.
- Tester, R. F. and Morrison, W. R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chem.* 67: 551-559.
- Thomas, J. D. and Atwell. A. W. 1997. *Starches.* American Association of Cereal Chemists. USA.
- Tongdang, T. 2001. Molecular structure of native and processed rices. Ph.D. thesis. Nottingham University.
- Tongta, S. and Boona, S. 2007. Effect of drum drying on physicochemical properties of pregelatinized rice flour. In *Proceeding of the 4th International conference on starch technology.* Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand. 6-7 November 2007. P. 199-203.
- Tung, M. A. and Jones, L. J. 1981. Microstructure of mayonnaise and salad dressing. *Scanning Electron Microscopy.* 3: 523-530.
- Vallous, N. A., Gavrielidou, M. A., Karapantsios, T. D. and Kostoglou, M. 2002. Performance of a double drum dryer for producing pregelatinized maize starches. *J. Food Eng.* 51: 171-183.
- van Soet, J. J. G., Tournois, H., de Wit, D. J. F. and Vliegthart, J. F. G.. 1995. Shot-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy. *Carbohydr. Res.* 279: 201-214.

- Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P. and Naivikul, O. 2003. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of thai rice. *Starch/Stärke*. 55: 410-415.
- Visser, R. G. F. 1996. Comparison of starches from different botanical sources. *In* Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology. AIT Center, Bangkok. 22-26 January and 19-23 February 1996.
- Waliszewski, N. K., Aparicio, A. M. Bello, A. L. and Monroy, A. J. 2003. Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydr Polym*. 52: 237-242.
- Whalen, P. J., Bason, M. L., Booth, R. I., Walker, C. E. and Walliams, P. J. 1997. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid visco analyzer. *Cereal Foods World*. 42 (6): 469-475.
- Wilson, R. H., Kalichevsky, M. T., Ring, S. G. and Belton, P. S. 1987. A Fourier-transform infrared study of gelation and retrogradation waxy-maize starch. *Carbohydr. Res*. 166: 162-165.
- Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S. and Jamnong, P. 2006. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food hydrocolloids*. 20: 68-78.
- Wurzburg, O. B. 1986. *Modified Starches : Properties and Uses*. CRC Press. Inc., Boca Raton, Florida. p. 299
- Yadav, A. R., Guha, M., Tharanathan, R. N., Ramteke, R. S. 2006. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. *LWT*. 39: 20-26
- Zhou, Z., Robards, K. Helliwell, S. and Blanchard, C. 2002. Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science and Technology*. 37: 849-868.
- Zobel, H. F., Young, S. N. and Rocca, L. A. 1988. Starch gelatinization: An x-ray diffraction study. *Cereal Chem*. 65: 443-446.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. เดซิเคเตอร์ (desiccator)
4. ภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิด (moisture can)

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำกับข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg
3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 ใสลงในภาชนะหาความชื้น ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว
4. นำไปอบในตู้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบอีกครั้ง
5. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 จนผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

โดย W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดกลม (สำหรับใส่ตัวทำละลาย) ซอกเลต (soxhlet) อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
3. สำลี
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า
6. โถดูดความชื้น (desiccator)

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

วิธีการ

1. อบขวดกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดบรรจุ 250 ml ในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของขวดกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อที่ 1 จนผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg
3. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 g ห่อให้มีดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
4. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอกเลต เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 ml แล้ววางบนเตาให้ความร้อน
5. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับเตาความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
6. เมื่อครบ 14 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอกเลต และกลั่นเก็บสารทำละลายจนเหลือสารทำละลายในขวดกลมเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ

7. นำขวดหาไขมันอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80-90°C จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
8. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อที่ 7 จนผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{W_2 \times 100}{W_1}$$

โดย W_1 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

W_2 = น้ำหนักไขมันหลังอบ (g)

3. การวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดย่อยโปรตีน ขนาด 200 ml
2. อุปกรณ์ให้ความร้อน
3. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน (semi-microdistillation)
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 125 ml
5. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 ml
6. ปิเปต ขนาด 5, 10 ml
7. บิวเรตต์
8. ตู้ดูดควัน
9. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. ลูกแก้ว (glass bead)
11. เตาย่อย (VELP DK6)
12. เครื่องดักจับไอกรด (scrubber)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc.H₂SO₄)
2. ตัวเร่งผสม (Catalyst) ระหว่าง CuSO₄ กับ K₂SO₄ อัตราส่วน (Cu : K₂SO₄) คือ 1 : 10
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
4. กรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (HCl 0.1 N)
5. กรดบอริกเข้มข้น 4 %
6. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
7. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator ระหว่าง Methylene blue 0.1 g กับ Methyl red 0.2 g ละลายในแอลกอฮอล์ 90 % 100 ml)

การทำมาตรฐานสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
 - 1.1 ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ผ่านการอบแห้ง (อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ด้วยเครื่องชั่งละเอียดให้น้ำหนักอยู่ในช่วง 2.0-2.2 g บันทึกน้ำหนักที่ชั่ง

- 1.2 นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml
เขย่าขวดให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 1.3 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอน
2. การเตรียมสารละลาย 0.1 M HCl จากกรดเกลือเข้มข้น
 - 2.1 รินกรดเกลือเข้มข้นจากขวดลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml (ทำในตู้ควัน)
 - 2.2 ตวงกรดเกลือเข้มข้นให้มีปริมาตร 4.0-4.5 ml ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 ml
 - 2.3 เทกรดเกลือเข้มข้นที่ตวงแล้วลงในน้ำกลั่นปริมาตร 500 ml ที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์
ขนาด 600 ml คนให้สารละลายเข้ากันดี
 - 2.4 สารละลาย HCl ที่เตรียมขึ้นนี้มีมีความเข้มข้นประมาณ 0.1 M ถ่ายเก็บในขวดแก้ว
เพื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ใช้ต่อไป
3. การทำมาตรฐานสารละลายกรดเกลือ
 - 3.1 ปิเปตสารละลายกรดเกลือมา 25 ml ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml
 - 3.2 เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน 2-3 หยด เขย่าสารละลายในขวดให้เข้ากัน
 - 3.3 ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานทศนิยมโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่ง
สารละลายในขวดเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์
 - 3.4 ไทเทรตซ้ำ 2 ครั้ง
 - 3.5 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดเกลือ

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน ประมาณ 1-2 g ใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน
2. การย่อย
 - 2.1. เติมตัวเร่งผสม (Catalyst) ระหว่าง CuSO_4 กับ K_2SO_4 (CuSO_4 0.5 g และ K_2SO_4
5 g) ในขวดย่อยโปรตีน เพื่อเร่งปฏิกิริยาการย่อย
 - 2.2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ml (ค่อยๆ ไหลตามข้างขวด) เขย่าเบาๆ จนแป้งไม่จับ
เป็นก้อน ปิดปากขวดด้วยกระดาษแก้วกลม
 - 2.3. ย่อยบนอุปกรณ์ให้ความร้อนอ่อนๆ จนได้สารละลายสีเขียวใส
 - 2.4. ปล่อยทิ้งให้เย็น
3. การกลั่น
 - 3.1. เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิลดลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 20 ml และเติมสารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
 - 3.2. จัดอุปกรณ์กลั่น

- 3.3. เติมกรดบอริกเข้มข้น 4 % ปริมาตร 25 ml ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วหยดอินดิเคเตอร์ 5-6 หยด นำไปกรองรับของเหลวกรองรับสารละลายที่กลั่นได้ โดยใช้อุปกรณ์ควบแน่นจุ่มในสารละลายกรดบอริก
- 3.4. กลั่นจนกระทั่งไม่มีแอมโมเนียเหลือ สารละลายที่กลั่นได้ประมาณ 150 ml
4. การไทเทรต
- 4.1. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน สังกะสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน จุดปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
- 4.2. ทำ blank โดยใส่สารเคมีและขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง แต่ไม่ใส่ตัวอย่าง

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%โดยน้ำหนัก)} = \frac{1.4007 \times N \times (A-B) \times F}{W}$$

โดย A = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank

W = น้ำหนักตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

F = แฟกเตอร์เท่ากับ 5.95

4. การวิเคราะห์ปริมาณแถ้ (AOAC, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยครุชชีเบิล
2. เตาไฟฟ้า
3. เตาเผา
4. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
5. เดซิเคเตอร์

วิธีการ

1. เผลาครุชชีเบิลเพื่อหาน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 g ใส่ครุชชีเบิล นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนควันหมด
3. นำไปเผาจนได้ต่อในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550°C นานประมาณ 2-3 ชั่วโมงจนกระทั่งได้แถ้สีขาวหรือสีเทา
4. จากนั้นนำมาใส่เดซิเคเตอร์ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่ง เผลาตัวอย่างซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 mg

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณแถ้ (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{(W_1 - W)}$$

โดย W = น้ำหนักของครุชชีเบิล (g)

W_1 = น้ำหนักของครุชชีเบิลและตัวอย่างก่อนเผา (g)

W_2 = น้ำหนักของครุชชีเบิลและตัวอย่างหลังเผาจนน้ำหนักคงที่ (g)

5. การวิเคราะห์หาปริมาณอะมิโลส (amylase content)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างน้ำ
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. เอทานอล
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล
4. สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.2 %
5. กระจกกรองเบอร์ 4
6. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

วิธีการ

1. ชั่งสตาร์ช 100 mg นำไปละลายในเอทานอล 1 ml และน้ำกลั่น 50 ml
2. ให้ความร้อนแก่สตาร์ชที่อุณหภูมิ 95°C นาน 20 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 ml แล้วกรองด้วยกระจกกรองเบอร์ 4
4. ดูดสารละลายสตาร์ชมา 5 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml และปรับให้เป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล
5. เติมสารละลายไอโอดีน 2 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 nm คำนวณค่าปริมาณเทียบเท่าอะมิโลส

สูตรคำนวณ

$$AE = \frac{R \times a \times 20}{A \times r}$$

- โดย
- AE = ปริมาณอะมิโลสที่ละลายได้
 - R = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง
 - A = ค่าการดูดกลืนแสงของ Standard amylose
 - r = น้ำหนักตัวอย่าง (db)
 - a = น้ำหนักของ Standard amylose

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

Table appendix B1 Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice after pregelatinization. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm)

Starch	Conditions (% / °C / rpm)	WAI (g/g)	WSI (%)
PGS	35 / 110 / 4	29.25 ^a ± 1.02	27.10 ^c ± 1.18
	35 / 117 / 4	25.12 ^b ± 0.62	29.14 ^b ± 1.33
	35 / 123 / 4	22.44 ^c ± 2.06	41.57 ^a ± 3.04
PJS	35 / 110 / 4	20.55 ^a ± 0.06	8.14 ^b ± 0.10
	35 / 117 / 4	21.05 ^a ± 0.18	9.83 ^a ± 0.71
	35 / 123 / 4	21.56 ^a ± 0.06	10.41 ^a ± 0.05
PCS	35 / 110 / 4	10.71 ^c ± 0.38	4.65 ^b ± 0.09
	35 / 117 / 4	11.72 ^b ± 0.24	5.07 ^b ± 0.14
	35 / 123 / 4	15.74 ^a ± 0.67	6.07 ^a ± 0.86

Note : Each value is mean of duplicate ± SD. Different superscripts in the column for each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

Table appendix B2 Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice after pregelatinization. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm)

Starch	Conditions	WAI	WSI
	(% / °C / rpm)	(g/g)	(%)
PGS	35 / 110 / 4	29.25 ^a ± 1.02	27.10 ^b ± 1.18
	35 / 110 / 2	26.92 ^b ± 0.77	30.51 ^a ± 0.44
PJS	35 / 110 / 4	20.55 ^a ± 0.06	8.14 ^b ± 0.10
	35 / 110 / 2	20.61 ^a ± 0.04	10.00 ^a ± 0.44
PCS	35 / 110 / 4	10.71 ^b ± 0.38	4.65 ^b ± 0.09
	35 / 110 / 2	13.68 ^a ± 0.26	5.65 ^a ± 0.48

Note : Each value is mean of duplicate ± SD. Different superscripts in the column for each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

Table appendix B3 Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice after pregelatinization. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm)

Starch	Conditions	WAI	WSI
	(% / °C / rpm)	(g/g)	(%)
PGS	35 / 110 / 4	29.25 ^a ± 1.02	27.10 ^b ± 1.18
	30 / 110 / 4	21.49 ^b ± 1.69	39.67 ^a ± 1.93
PJS	35 / 110 / 4	20.55 ^a ± 0.06	8.14 ^b ± 0.10
	30 / 110 / 4	20.81 ^a ± 0.39	9.31 ^a ± 0.23
PCS	35 / 110 / 4	10.71 ^a ± 0.38	4.65 ^b ± 0.09
	30 / 110 / 4	10.83 ^a ± 0.14	5.56 ^a ± 0.30

Note : Each value is mean of duplicate ± SD. Different superscripts in the column for each rice starch denote significant differences ($p < 0.05$).

Table appendix B4 Viscosity parameter from Rapid Visco Analyzer of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C 117°C and 123°C and rotation speed 4 rpm)

Starch	Conditions (%/°C/rpm)	Cold Peak Viscosity (mPa.s)	Hot Peak Viscosity (mPa.s)	Breakdown (mPa.s)	Setback (mPa.s)	Final Viscosity (mPa.s)
PGS	35 / 110 / 4	3754.50 ^a ±37.48	-	-	-	-
	35 / 117 / 4	2106.00 ^b ±32.53	-	-	-	-
	35 / 123 / 4	1388.00 ^c ±209.30	-	-	-	-
PJS	35 / 110 / 4	9275.00 ^a ±84.85	-	-	-	-
	35 / 117 / 4	7924.50 ^b ±7.78	-	-	-	-
	35 / 123 / 4	5511.00 ^c ±214.96	-	-	-	-
PCS	35 / 110 / 4	-	4969.00 ^b ±39.60	3598.50 ^b ±330.22	2879.50 ^a ±181.73	4250.00 ^a ±108.89
	35 / 117 / 4	-	4858.00 ^b ±31.11	3572.50 ^b ±3.54	3004.50 ^a ±72.83	4290.00 ^a ±45.25
	35 / 123 / 4	-	5480.00 ^a ±90.51	3893.50 ^a ±40.31	2796.00 ^a ±287.09	4382.50 ^a ±236.88

Note : Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each column denote significant differences (p<0.05).

Table appendix B5 Viscosity parameter from Rapid Visco Analyzer of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 2 rpm and 4 rpm)

Starch	Conditions (%/°C/rpm)	Cold Peak Viscosity (mPa.s)	Hot Peak Viscosity (mPa.s)	Breakdown (mPa.s)	Setback (mPa.s)	Final Viscosity (mPa.s)
PGS	35 / 110 / 4	3754.50 ^a ±37.48	-	-	-	-
	35 / 110 / 2	3485.50 ^a ±132.23	-	-	-	-
PJS	35 / 110 / 4	9275.00 ^a ±84.85	-	-	-	-
	35 / 110 / 2	8720.00 ^b ±148.89	-	-	-	-
PCS	35 / 110 / 4	-	4969.00 ^b ±39.60	3598.50 ^b ±330.22	2879.50 ^a ±181.73	4250.00 ^b ±108.89
	35 / 110 / 2	-	6046.50 ^a ±127.99	4162.50 ^g ±64.35	2862.50 ^a ±34.65	4746.50 ^a ±98.29

Note : Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each column denote significant differences (p<0.05).

Table appendix B6 Viscosity parameter from Rapid Visco Analyzer of pregelatinized starches from Glutinous (PGS), Jasmine (PJS) and Chiang (PCS) rice. (Drum dryer input parameters: starch concentration 30% and 35% (db), drum temperature 110°C and rotation speed 4 rpm)

Starch	Conditions (%/°C/rpm)	Cold Peak Viscosity (mPa.s)	Hot Peak Viscosity (mPa.s)	Breakdown (mPa.s)	Setback (mPa.s)	Final Viscosity (mPa.s)
PGS	35 / 110 / 4	3754.50 ^a ± 37.48	-	-	-	-
	30 / 110 / 4	1799.67 ^b ± 126.06	-	-	-	-
PJS	35 / 110 / 4	9275.00 ^a ± 84.85	-	-	-	-
	30 / 110 / 4	7724.50 ^b ± 78.49	-	-	-	-
PCS	35 / 110 / 4	-	4969.00 ^b ± 39.60	3598.50 ^b ± 330.22	2879.50 ^a ± 181.73	4250.00 ^a ± 108.89
	30 / 110 / 4	-	5059.50 ^a ± 13.44	3635.00 ^a ± 35.36	2887.50 ^a ± 299.11	4792.00 ^a ± 428.51

Note : Each value is mean of triplicate ± SD. Different superscripts in each column denote significant differences (p<0.05).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวกีนจันทร์ ณ นคร		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4882002		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
	วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548
(วิทยาศาสตรการอาหารและโภชนาการ)			

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานวิจัยแห่งชาติ (สกว.)
- ทุนการพัฒนาสาขาอุตสาหกรรมเกษตรสู่ความเป็นเลิศ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Nanakorn, K., Tongdang, T. and Sirivongpaisal, P. 2007. Rheological properties of pregelatinized rice starches. In Proceeding of 10th ASEAN FOOD CONFERENCE 2007: Food for Mankind-Contribution of Science and Technology. Kuala Lumpur, Malaysia. 21-23 August 2007.

Nanakorn, K., Tongdang, T. and Sirivongpaisal, P. 2007. Effect of amylose content on structural and pasting properties of pregelatinized rice starches. In Proceeding of 9th National Grad Research Conference. Burapha University, Bangsaen Chonburi, Thailand. 14-15 March 2007.

Nanakorn, K., Tongdang, T. and Sirivongpaisal, P. 2008. Crystallinity and rheological properties of pregelatinized rice starches differing in amylose content. Starch/Stärke. (In press)